

2012

UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

Enrique Sanmartin Gómez



MODELIZACIÓN Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA CON MATERIALES COMPUESTOS AVANZADOS DE UN YATE DE 26 METROS DE ESLORA POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

PROYECTO FINAL DE CARRERA
INGENIERIA NAVAL Y OCEANICA

Indice

Estudio de mercado.....	5
Situación del mercado actual en España.....	5
Matriculaciones en el año 2010	6
Embarcaciones por eslora	7
Embarcaciones por mercados	8
Situación del mercado actual internacional.....	8
Embarcaciones internacionales por esloras.....	9
Embarcaciones internacionales por mercados	10
Conclusión del estudio mercado	10
Diseño y modelización del yate.....	11
Estimación del desplazamiento y centro de carena del yate.....	11
Cálculo de la astilla muerta	14
Predicción de velocidad de la carena.....	17
Eslora mojada en navegación.....	19
Datos obtenidos para realizar la carena	21
Modelización del casco	22
Curvas y superficies NURBS.....	22
Modelización del casco	25
Modelización de la cubierta y superestructura.....	32
Diseño y modelización de la estructura	35
Materiales de la estructura	35
Fibras	35
Formas de presentación de los materiales compuestos.....	40
Materiales matriz (resinas)	41
Construcción tipo sándwich con espuma.....	43
Cálculo analítico de laminados de la estructura	56
Tipo de estructura	56

Disposición general	56
Cálculo de las presiones de fondo.....	59
Cálculo de la plancha resistente.....	61
Ejemplo de cálculo detallado de una plancha.....	73
Cálculo de las planchas de fondo	77
Cálculo de quilla y chines	81
Cálculo de los refuerzos de fondo	83
Anillo A1 (Varenga) Presión = 36 kN/m ²	91
Cálculo de las presiones de costado	95
Calculo de los paneles de costado	95
Refuerzos de costado	98
Calculo de las presiones de cubierta cubiertas y aéreas expuestas.....	108
Cálculo de los mamparos resistentes.....	112
Modelización de los elementos estructurales	115
Estructura del casco	116
Estructura de cubierta.....	117
Estructura de Superestructura	118
Estructura completa	119
Análisis mediante elementos finitos	120
Introducción	120
Preproceso y generación de la malla (GID)	121
Cálculo y resolución de sistemas de ecuaciones (Ramseries).....	122
Postproceso (Ramseries).....	122
Cálculo de la estructura del casco	123
Presiones	128
Materiales	133
Condiciones de contorno	140
Mallado	142
Proceso de cálculo.....	145
Resultados	146
Estructura de costado	153
Resultados	154
Mamparos	158

Estructura de cubierta.....	161
Resultados	163
Estructura de superestructura	168
Resultados	170
Conclusion	178
Bibliografía	180

Estudio de mercado

Situación del mercado actual en España

La coyuntura del sector náutico en España, desde 2002 a 2006, estuvo marcada por la estabilidad económica general y el mantenimiento de las grandes magnitudes económicas. Esta situación permitió que el sector creciera considerablemente. También, la afición por la náutica calaba fuerte entre la población española. El sector náutico español registró, en estos años, una tendencia ascendente en cuanto a número de matriculaciones, alcanzando un crecimiento acumulado del 22%. Eran unos años en que era evidente la vitalidad de la economía en España.

A partir de 2007 empezó a acusarse una pérdida de vitalidad de la economía, que se tradujo en un descenso paulatino de las matriculaciones. El proceso se agravó en 2008 y siguió en 2009 y desde entonces se registran caídas tanto en las ventas como en el consumo. Las matriculaciones en 2010 (hasta septiembre) fueron un 6,1% inferiores a las del mismo periodo del año anterior, situándose en las 5.081 unidades. El sector náutico en España vive una situación derivada directamente de la fuerte crisis económica mundial. Sin embargo, la náutica española sigue mostrando una importante resistencia a perder un mínimo de matriculaciones de soporte que se sitúa entre las 100 y las 150 unidades al mes. En este sentido, la pérdida de cuota de mercado de la náutica española ante la de importación se ha frenado con la crisis, registrando caídas de demanda ligeramente inferiores que la de barcos importados.

En el período enero-septiembre de 2010, las embarcaciones importadas disminuyeron un -5,8% respecto al mismo periodo del año anterior, mientras que las españolas disminuyeron un -3,5%. Destacar que en el principal segmento de mercado, el de embarcaciones a motor, las matriculaciones de barcos españoles ha disminuido un 8,8% (hasta septiembre de 2010). La cuota de mercado de las embarcaciones a motor se mantiene en el 58% del total. Las licencias son también una importante variable para medir la afición por la práctica de los deportes náuticos. En este sentido, las licencias concedidas por las distintas federaciones durante 2009 fueron 202.687 (incluyen las de pesca). El número de licencias disminuye un 6,5% respecto al año anterior. En cuanto a las nuevas titulaciones de embarcaciones de recreo, en el año 2009 se concedieron 39.307 nuevas titulaciones. Este dato supone una disminución del 23% respecto a las titulaciones emitidas en 2008, un descenso muy significativo y que indica, de nuevo, la situación por la que pasa el sector en estos dos últimos años.

El sector náutico deportivo sigue mostrando el efecto de la importante desaceleración económica global, si bien el descenso de los indicadores parece haberse suavizado, lo que significaría el final de la fuerte caída que ha registrado el sector estos dos últimos años.

El sector náutico se encuentra muy cerca de sus valores mínimos, lo que supone que la crisis iniciada en 2008 tocaría fondo.

Nuestro objetivo es la construcción de una embarcación superior a los 24 metros de eslora. Una vez estudiado el mercado español veremos que es preferible orientar la construcción a la

exportación a países del extranjero, para lo que también analizaremos los datos de construcción a nivel mundial.

Matriculaciones en el año 2010

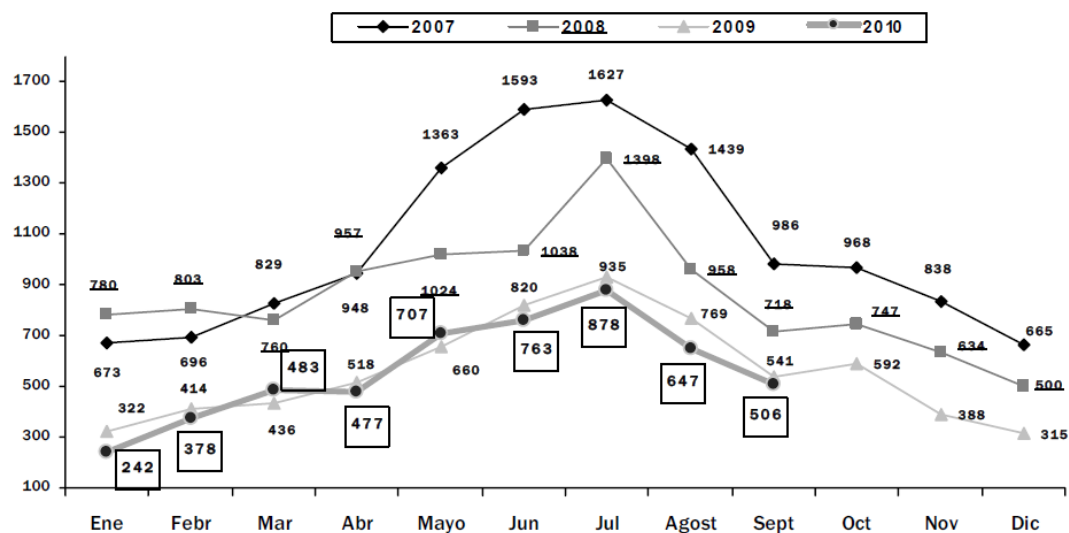
En 2010, durante el periodo enero-septiembre, se han matriculado en España 5.081 embarcaciones, un 6,2% menos que en el mismo periodo del año anterior.

La evolución sigue siendo negativa, pero las cifras de ventas mensuales empiezan a aproximarse a las del año anterior, lo que podría significar el fin de la brutal caída que ha registrado el sector en los tres últimos años.

La tendencia del sector sigue siendo negativa, pero con un descenso que puede considerarse moderado (- 6,2%), y similar al que se registró en el mismo periodo del año anterior. Sobre todo, este descenso puede considerarse moderado si se compara con los catastróficos indicadores de los dos últimos años.

Según ANEN, sigue la crisis del sector iniciada en la primavera de 2008, pero las cifras parecen indicar que se está tocando fondo, una situación que puede traducirse en que ha pasado lo más fuerte. En la siguiente gráfica se detalla la evolución del sector durante el primer semestre de 2010 (últimos datos disponibles), comparada con años anteriores.

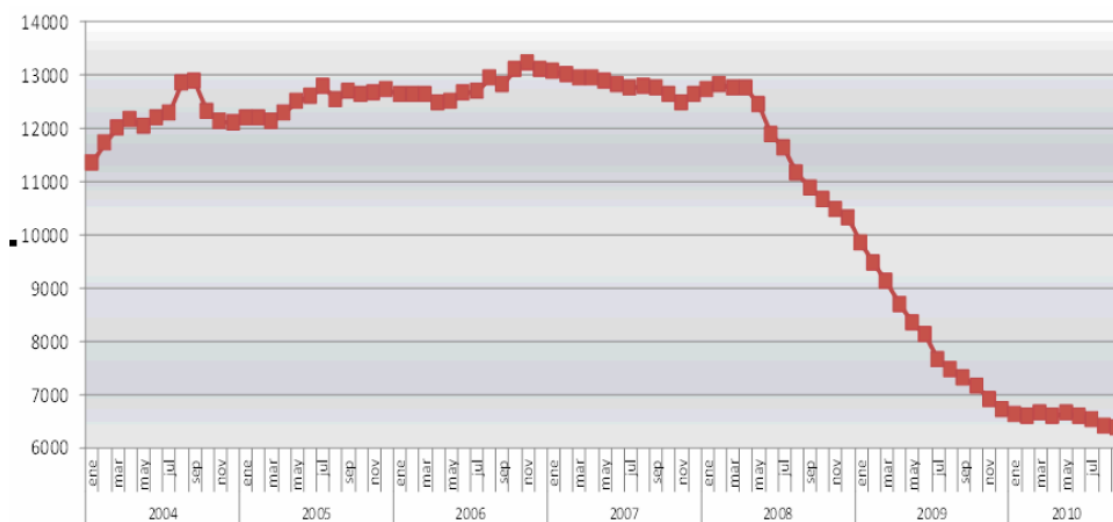
MATRICULACIONES MENSUALES (INCLUIDAS MOTOS DE AGUA)
TOTAL NACIONAL 2007-2010



El descenso del sector registrado en el primer semestre de este año puede considerarse de moderado (- 6,2%), comparando con las implacables caídas de matriculaciones registradas en los dos últimos años. Para valorar correctamente la situación del sector basta analizar la evolución del año móvil para evitar el efecto estacional. En la primavera de 2008 se inicia la espectacular caída que nos lleva desde un nivel de 13.000 matriculaciones anuales, hasta el



actual nivel de 5.000 matriculaciones. La inflexión que se dibuja con las cifras de 2009 da motivos de esperanza para pensar que se ha alcanzado lo peor.



Embarcaciones por eslora

Según la tipología de embarcaciones por esloras, se observa que la demanda sigue dirigiéndose hacia las de esloras inferiores, de forma que éstas son las que continúan dominando el mercado. En los nueve primeros meses de 2010, las embarcaciones de esloras inferiores a 8m representan el 86% del mercado total. Las embarcaciones de 8 a 12 metros son las únicas que crecen, si bien de forma moderada (+1,9%). Por el contrario, las embarcaciones de mayor eslora retroceden fuertemente durante este periodo, especialmente las de 15 a 18 m (un descenso del 21,7%). También retroceden, si bien no tanto, las de más de 18 m. (un descenso del 16,7%) Las embarcaciones de mayor eslora, a partir de 12 metros, representan el 3,3% del total del mercado.

TOTAL NACIONAL 2009-2010* / VARIACIÓN INTERANUAL / % DEL TOTAL

Eslora	2009	2010	% Variación anual	% 09/Total	% 10/Total
Hasta 4,5 m.	2.217	1.892	-11,05%	39,28%	37,24%
De 4,5 a 8 m.	2.570	2.487	-3,23%	47,46%	48,95%
De 8 a 12 m.	523	533	1,91%	9,66%	10,49%
De 12 a 15 m.	119	108	-9,24%	2,20%	2,13%
De 15 a 18 m.	46	36	-21,74%	0,85%	0,71%
Más de 18 m.	30	25	-16,67%	0,55%	0,49%
Totales	5.415	5.081	-6,17%	100%	100%

FUENTE: ANEN

Embarcaciones por mercados

Al desglosar las matriculaciones según tipo de embarcación, se observa que los descensos se mueven entre el 6% de los barcos a motor y el 10,9% de las motos de agua.

Las embarcaciones neumáticas semirígidas han registrado un comportamiento positivos con un

crecimiento del 7,8%. Las matriculaciones de embarcaciones a vela bajan un 10,6% en este periodo de 2010. Este segmento de mercado representa el 5,8% del total.

Los barcos a motor son los que dominan netamente alcanzando una cuota del 58,4% del total.

7 En resumen, puede afirmarse que el sector afronta una crisis generalizada que ha provocado un retroceso de la demanda hasta niveles anteriores al año 2002, primero del que se disponen datos fiables y en el que se matricularon 8.281 barcos en los nueve primeros meses, frente a los 5.081 matriculados en 2010 (hasta septiembre)

TOTAL NACIONAL 2009-2010* / VARIACIÓN INTERANUAL / % DEL TOTAL

Mercado	2009*	2010*	% Variación	% 09/Total	% 10/Total
Motos de agua	743	662	-10,90%	13,72%	13,03%
Barcos a motor	3.163	2.970	-6,10%	58,41%	58,45%
Neumáticas plegables	664	599	-9,79%	12,26%	11,79%
Neumáticas semirígidas	515	555	7,77%	9,51%	10,92%
Vela	330	295	-10,61%	6,09%	5,81%
Totales	5.415	5.081	-6,17%	100%	100%

Situación del mercado actual internacional

La situación actual nos lleva a pensar y producir proyectos destinados al mercado internacional. La construcción en nuestro país no nos procede grandes cifras, pero existe una gran parte de la producción mundial cuyo proyecto es de origen español. Existen oficinas en España que están llevando a cabo producciones en países como China, Turquía, Emiratos Arabes, etc.

Top 10 Builder Nations				
Country	Total Length	Average Length	No. of Projects	2006 Rank
1 Italy	39,104'	113'	347	1
2 United States	13,056'	127'	103	2
3 The Netherlands	8,965'	166'	54	3
4 United Kingdom	5,612'	94'	60	4
5 Germany	5,598'	254'	22	5
6 Taiwan	4,269'	97'	44	7
7 New Zealand	2,198'	137'	16	9
8 France	2,029'	119'	17	10
9 Turkey	1,728'	144'	12	-
10 China	1,435'	110'	13	6

Nos basaremos en la producción mundial de yates para seleccionar la eslora mayor de 24 metros de nuestro proyecto.

.En 2005 y los años anteriores a la recesión económica, los astilleros de todo el mundo tenían carteras de pedidos llenas con más de 1.000 proyectos. Un punto crítico para las grandes fortunas económicas mundiales, fue la caída del banco Lehman Brothers, curiosamente, la caída libre de pedidos de grandes yates comenzó tres meses después.

Tomando los datos de bolsa y los resultados globales de 2009 / 10, pueden proporcionar un indicador de las nuevas tendencias, las fortalezas y debilidades que serán parte de nuestra industria para lo que queda del año 2011 y venideros. En cuanto al número de ventas, 205 súper yates fueron registrados en 2010 en comparación con los 194 de 2009, lo que nos da un aumento que podemos considerar marginal del 6%.

Con estos datos de ventas comparados con los de años anteriores, es obvio que la oferta supera superando la demanda. Ese desequilibrio ha obligado a astilleros y agentes a reducir los precios con la esperanza de alentar las ventas. Los precios de los yates se redujeron en un global de un 3% en el año 2010. Este dato puede no parecer desmesurado, pero hemos de puntualizar en que las esloras más castigadas fueron las que se encuentran entre los 30 y 40 metros con una reducción del 20%.

Embarcaciones internacionales por esloras

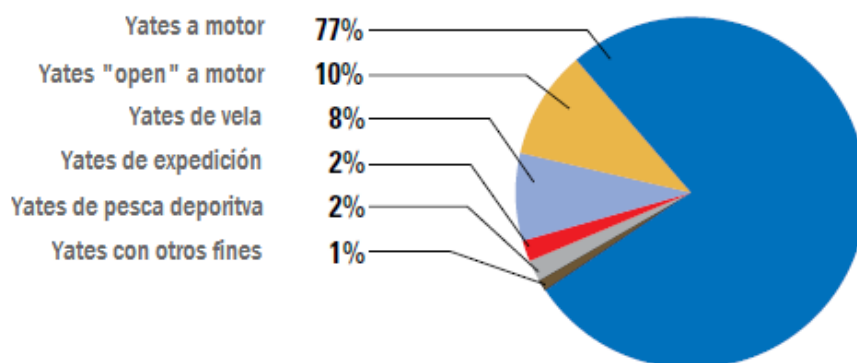
En relación a las esloras, los triunfadores de 2010 fueron los yates entre los 40 y 70 metros, con el incremento de ventas de más de 45%, desde las 47 hasta las 69 unidades, aunque en número, la venta de yates de esloras comprendidas entre 24-30 metros siguió siendo mucho mayor lógicamente por el menor precio de la unidad. Los datos se ven reflejados en el siguiente cuadro.

Length (metre)	Number	Percentage
24-30	66	33%
30-40	61	30%
40-50	42	20%
50-70	27	13%
70+	9	4%
Total	205	100%

Datos por cortesía de Boat International Media

Embarcaciones internacionales por mercados

El volumen de grandes yates de motor contruidos ha sido siempre muy superior frente al de vela. Durante los últimos años, en coincidencia con la crisis económica, la cartera de los yates de vela ha crecido de manera exponencial, aunque cierto que el número total de ventas aún es muy inferior al de los propulsados mecánicamente. A continuación, mostramos los datos de los yates oceánicos que han sido contruidos durante los últimos tres años.



Conclusión del estudio mercado

Hemos visto que para la construcción de un yate de más de 24 metros hemos de guiarnos con los datos de ventas a nivel mundial. En España son muy pocos los astilleros que construyen embarcaciones de recreo por encima de esta eslora, y los que lo hacen tienen un alto porcentaje de clientes extranjeros.

El escaso número de construcciones de este tipo podría hacernos pensar que en nuestro país, por ende, tampoco es necesaria una gran profundización en la ingeniería de este tipo de barcos, pero nada más lejos de la realidad. El actual sistema de producción esté estrechamente unido a la globalización. Muchas de las obras que se llevan a cabo en todo el mundo tienen su ingeniería a miles de kilómetros del lugar donde se encuentran los operarios. En esta organización, nuestro país pertenece al grupo de los que generan la ingeniería que otros producen, por lo que si existen varias oficinas de diseño de estructuras navales que se dedican al cálculo y optimización de las estructuras de barcos de este tipo.

Para la ejecución de este proyecto vamos a seleccionar la eslora que se elige para la construcción de más embarcaciones a nivel mundial, ya que es para la que existe mas demanda de cálculo. Esta eslora es la comprendida entre 24 y 30 metros, ya que cumple el requisito anterior además es una eslora en la que domina el mercado la estructura de composite, material que nos ocupa y requiere un cálculo más complejo que el del acero o aluminio. También hemos de aclarar que el procedimiento que vamos a emplear es válido y extremadamente parecido para cualquier gran eslora de composite.

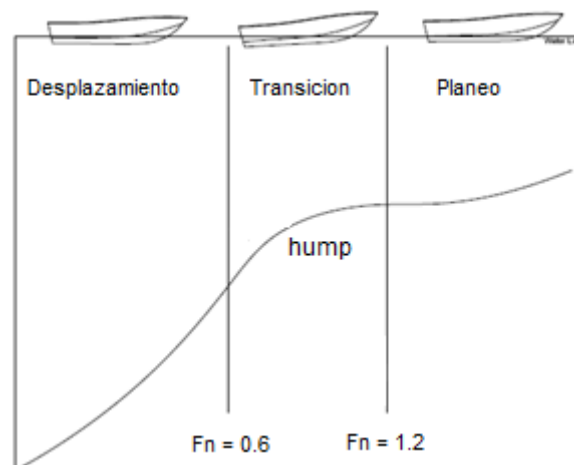
La eslora del yate que procedemos a calcular la vamos a estimar en 26 metros. Será una estructura del tipo motor-yacht, es decir, yate cubierto con fly, dado que este objetivo actual en todos los grandes astilleros y para la que se están renovando los modelos por todo lo descrito anteriormente.

Diseño y modelización del yate

Estimación del desplazamiento y centro de carena del yate

Para este punto vamos a acudir a los yates que existen contruidos en el mercado. Todos los astilleros que podemos identificar como astilleros de máxima calidad utilizan los materiales híbridos que vamos a utilizar nosotros para la estructura. Este punto es el más importante para determinar el desplazamiento del yate, ya que los demás elementos que lo componen (motores, equipos y servicios, habilitaciones, pertrechos...etc.) se pueden considerar como comunes en todas las construcciones de semejantes esloras. Obtendremos una primera estimación del peso por medio de una regresión para la que utilizaremos una base de datos actual.

El cálculo de desplazamiento y posición del centro de gravedad es importante en el diseño de cualquier embarcación, pero en este caso nos encontramos con que el barco navega en un froud para el cual es extremadamente importante el reparto de pesos y debe tener una estructura ligera, optimizada y calculada. Estimando como velocidad a alcanzar por el yate 30 nudos, al tener una eslora de flotación de 24 metros, estaríamos navegando con un froud de 1.005, régimen para el cual el barco puede no superar la joroba (hump) de resistencia previa al planeo. La estructura y su peso son la clave para superar con garantías este problema.



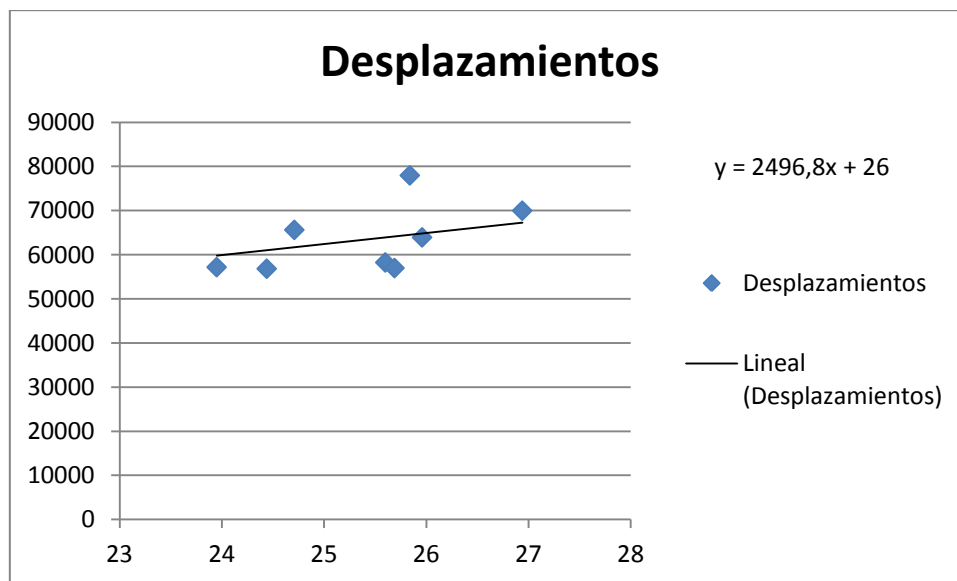
Más adelante una vez calculada la estructura, habremos dado una vuelta a la espiral de diseño que significa el proyecto de un barco y podremos garantizar una aproximación mucho más precisa y exhaustiva del desplazamiento del buque, ya que el resto de elementos del barco están mucho más definidos.

Estos barcos están considerados como hemos visto en el rango de semidesplazamiento, por lo que el peso tiene efecto inmediato en la velocidad y consumo, puntos clave para el éxito o fracaso de la construcción.



Una vez aclarado el objetivo, obtenemos la base de datos del mercado actual despreciando algunos modelos para conseguir una regresión adecuada.

	LOA	kg
Ferreti 800	24,71	65650
Astondoa 82	25,6	58270
Azimut 82	25,69	57000
Sunseeker 80	24,44	56850
San lorenzo 82	23,95	57200
Alexander 85	25,84	78000
Lazzara	25,96	63956
Majesty 88	26,94	70000



La ecuación resultante es $y = 2496,8x + 26$, con lo que para nuestra eslora de 26 metros tendremos un desplazamiento estimado de $64942.8 \text{ kg} \approx 65$ toneladas.

Una vez tenemos el desplazamiento aproximado, hemos de predecir donde se encontrará en centro de gravedad del barco. El objeto que perseguimos es el correcto diseño de la carena para que tenga una flotación adrizada y sin asiento, y que a la vez tenga buenos resultados en



navegación, ya que el dicho punto tiene máxima influencia en el correcto planeo como hemos visto anteriormente.

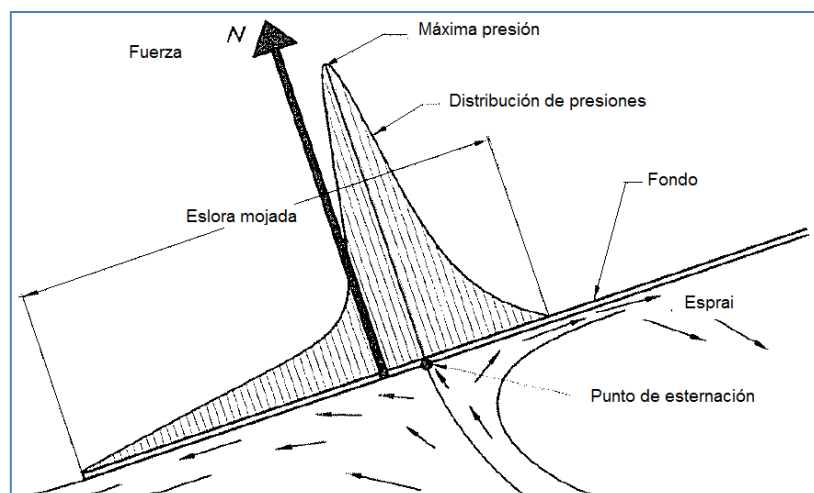
El método que utilizaremos es el del procedimiento inverso, es decir, supondremos el centro de pesos en el punto óptimo en el que debe estar para el mejor rendimiento de la carena. Una vez dicho esto puede parecer que es un error, dado que al no tener en cuenta en este método ninguno de los elementos que constituyen el barco no podremos asegurar que el centro de pesos se coloque en ese punto una vez construido el barco, pero no es así. A través de la experiencia, los diseñadores de barcos han asumido que es mucho más exitoso adaptar ciertos elementos móviles del barco (baterías, sistemas, generadores, etc) al final de la construcción, para así conseguir aproximarse el máximo posible al óptimo.

Para la carena que vamos a diseñar, hemos de considerar como óptimo un punto longitudinal del centro de carena que esté al 40% de la eslora de flotación.

Llegados a este punto, hemos justificado que hemos de diseñar un casco para un barco de 65 toneladas, es decir que tenga un volumen sumergido de 63,35 metros cúbicos y que tenga su centro de carena aproximado en el 40% de su eslora de flotación.

La construcción del barco ha de ser realizada de manera que su centro de gravedad se encuentre en esta misma sección, esto nos garantizará lo siguiente:

- Cuando el barco se encuentre parado flotando libremente en aguas tranquilas no tendrá asiento, de manera que todo el buque y sus elementos tenga la situación para la que ha sido diseñado.
- Cuando el buque se encuentre navegando a cierta velocidad comenzará a producirse el fenómeno de planeo de forma satisfactoria. Para entender la influencia del centro de gravedad en el planeo vamos a estudiar la siguiente ilustración



Presión de fondo

El punto N es el punto en el que se aplica la fuerza resultante del avance del barco. Si el centro de gravedad sobrepasa este vector, la proa del yate caerá de la ola generada. Este proceso se repite cíclicamente y se llama "porposing". Por el contrario, si el centro de gravedad se



encuentra muy atrasado respecto a N, el barco hundirá la popa sufriendo un incremento muy grande de resistencia.

Cálculo de la astilla muerta

La respuesta en la navegación de un barco a altos froud dependerá en gran parte del ángulo de astilla muerta. Los cascos que tienen un ángulo de astilla muerta fuerte navegan a través de las olas y tienen menor sustentación para navegar por encima del agua. Las altas velocidades en condiciones de mar que no sean aguas tranquilas provocarán impactos muy fuertes en el casco que se transmitirán a todo el barco y las personas que viajan a bordo. La magnitud de este impacto está relacionada con la profundidad de la V del casco.

Casco con amplia astilla muerta

Los barcos más rápidos en el agua son catamaranes offshore de fondo plano, pero cuando las condiciones de navegación se tornan difíciles no pueden mantener su velocidad mientras que los cascos de V profunda si tienen esa posibilidad. Esta V se considera profunda para valores alrededor de los 24°.



A diferencia de lo que puede parecer más lógico, a mayor velocidad de navegación, el barco debe tener una V más profunda, porque aunque disminuya el rendimiento, es la única manera de tener una navegación cómoda y segura.

La astilla muerta amplia tiene algunas desventajas que debemos conocer:

- Una mayor superficie mojada. Esto significa un mayor calado, un aumento de resistencia y un mayor consumo de combustible.
- Menos de la estabilidad lateral.
- Rociones de agua a bordo. El casco tiende a arrojar agua hacia arriba en vez de expulsarla hacia los laterales.



Astilla muerta reducida

Los barcos que tienen este tipo de astilla muerta que ronda los 10º, son extremadamente incómodos para la navegación por el impacto que ejerce las olas, pero para la navegación rápida en aguas tranquilas y poco profundas obtienen un excelente y rápido planeo.

La construcción de este tipo de cascos se reserva únicamente para la navegación en lagos o en aguas interiores. Para nuestro proyecto, un barco que tiene previsión de navegar en aguas abiertas, sería totalmente irracional contemplar esta opción.

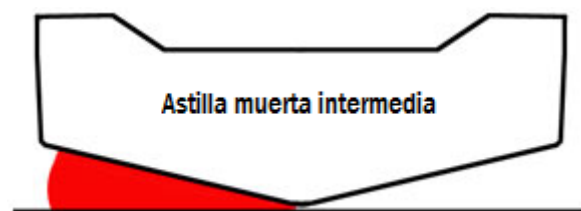


Astilla muerta moderada

Es la astilla muerta empleada en la mayoría de barcos de recreo. Como hemos visto, los dos extremos anteriores tienen por separado las dos ventajas que nos interesan, la navegación cómoda y el rendimiento de planeo.

Como en muchas ocasiones en los campos de ingeniería, se llega a una solución de compromiso, que se trata de emplear la media de las dos anteriores.

Un casco de astilla muerta moderada no corta tan bien a través de las olas como un casco de v profunda, pero disfruta de varias ventajas. Es más estable, no se mueve tanto, es rápido y eficiente con el combustible y no salpica mucha agua.





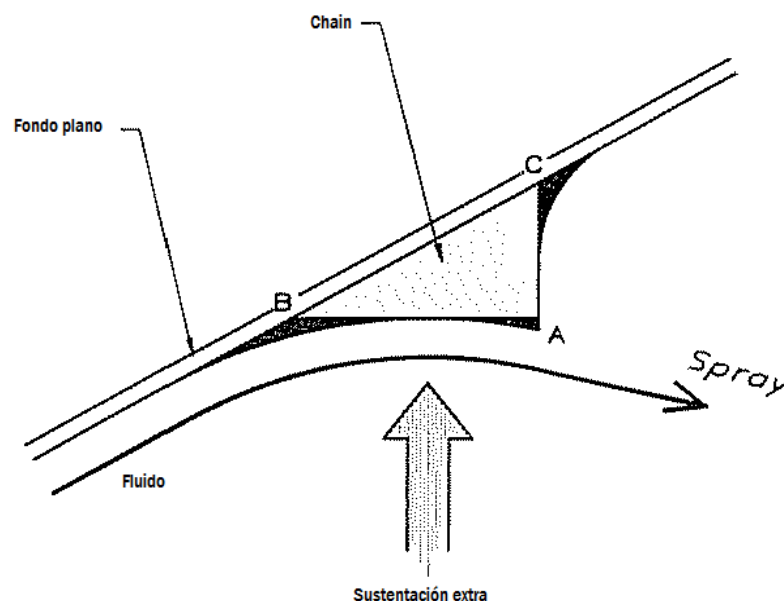
El principal indicador para seleccionar la astilla muerta apropiada es la experiencia. Existen procesos de cálculo para conocer la velocidad aproximada que se conseguirá para cada ángulo, pero no para conocer si la comodidad y la navegación serán confortables

Astilla muerta del casco profunda con Chines

La adición de chines a un casco en V puede proporcionar algunas de las ventajas de una V profunda y la reducción de algunas de las desventajas.



Como vemos en la imagen, esta composición mezcla una V profunda con unos planos en los que tendremos un incremento de presión para la sustentación. La disposición de estos chines debe ser desde la proa hasta el punto en que se considera que el barco ya obtiene un planeo completo. Muchos constructores han cometido el error de alargarlos hasta el espejo de popa, pero esto nos hace perder mucha precisión en el cálculo del planeo por alterar el fondo plano y además puede facilitar que lleguen burbujas de aire que son desfavorables a la propulsión.



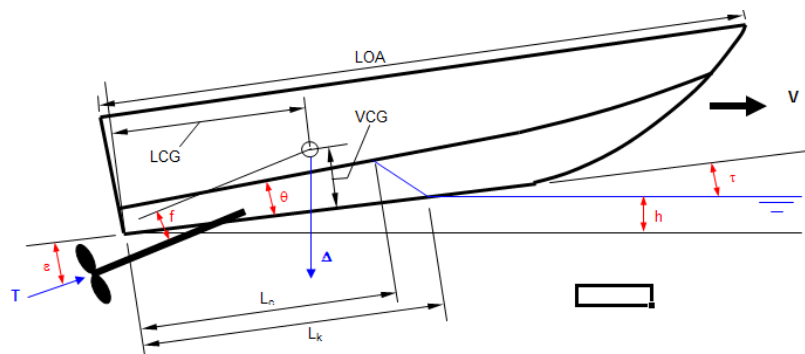


Una vez conocidas las opciones que tenemos, para nuestro diseño vamos a optar por un casco de una V que nos dé un resultado cómodo y que nos cumpla buenas condiciones de velocidad. Como decíamos antes, la elección en cuanto a navegabilidad la da únicamente la experiencia, para lo que recurriendo a los modelos que existen actualmente en el mercado obtenemos una astilla muerta que ronda los 14° . Sabemos que con estas características nuestro barco tendrá correcta navegabilidad, pero hemos de garantizar también la velocidad.

Predicción de velocidad de la carena

Para la predicción de velocidad de la carena, hemos empleado el método de Savitsky programado, con él veremos si los 14° de astilla muerta del casco nos da una velocidad adecuada para el proyecto. Para completar los datos, hemos estudiado los datos de las esloras semejantes y hemos tanteado para decidir cuáles son los datos que nos dan los mejores resultados de resistencia. El resultado ha sido el siguiente:

Dato	Valor
B	5,30
VCG	3,50
LCG	8,00
Δ	65,00
β_T	14
β_0	14
L_0	12,00
f	2,50
ε	1,0



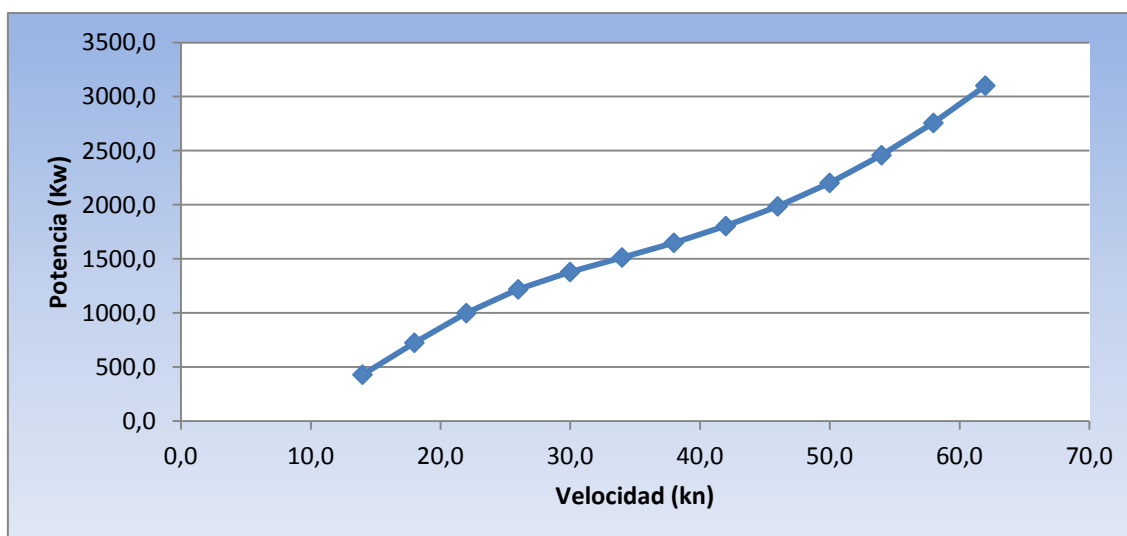


Los datos obtenidos son:

Resistencia					
Velocidad	Trimado °	Resistencia	Empuje	P _{remolque}	h
10,0	-	-	-	-	-
14,0	4,49	59.757	60.032	430,3	1,79
18,0	5,26	78.339	78.809	725,4	1,87
22,0	6,01	88.324	88.989	999,5	1,87
26,0	6,31	91.152	91.898	1219,1	1,77
30,0	6,11	89.400	90.092	1379,6	1,60
34,0	5,65	86.553	87.140	1513,8	1,44
38,0	5,13	84.404	84.889	1649,9	1,29
42,0	4,62	83.514	83.917	1804,3	1,16
46,0	4,16	83.960	84.302	1986,7	1,05
50,0	3,75	85.667	85.963	2203,4	0,96
54,0	3,40	88.526	88.788	2459,0	0,88
58,0	3,09	92.427	92.663	2757,6	0,82
62,0	2,83	97.277	97.494	3102,4	0,76

Como vemos, a la velocidad de 10 nudos, el método no nos da valores porque el barco no se encuentra en el rango de planeo y los ratios que aplica la solución no son válidos para esa velocidad.

En el gráfico podemos apreciar el hump de resistencia que se crea en la transición del planeo.

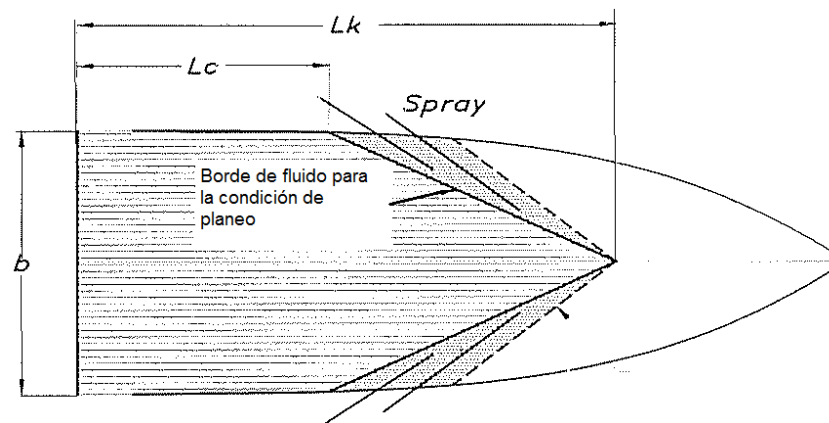




Como resultado de todo lo desarrollado hasta ahora, tenemos características básicas para poder desarrollar nuestra carena.

Eslora mojada en navegación

Para poder garantizar la velocidad para la potencia del resultado, hemos de poder garantizar que la superficie de eslora mojada que se encuentra en esa situación de sustentación tiene una astilla muerta de 14° . Para conseguirlo, hemos de calcular L_k y L_c con la intención de poder modelar la superficie. El proceso de cálculo es el siguiente:



De las siguiente ecuaciones pertenecientes al método de savitsky, obtenemos λ :

Lift Savitsky

$$\lambda : \frac{L_w}{b}$$

τ : Angulo de trimado

C_v : Coeficiente de velocidad $\sqrt{\frac{V}{g \cdot b}}$

V : Velocidad

$$C_{L0} = \frac{m \cdot g}{0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot b^2}$$

$$C_{L0} = \tau^{1.1} \cdot (0.012 \cdot \lambda^{0.5} + 0.0055 \cdot \frac{\lambda^{2.5}}{C_v^2})$$

De esta ecuación obtenemos $\lambda = 2.12$



L_k : Eslora mojada en quilla

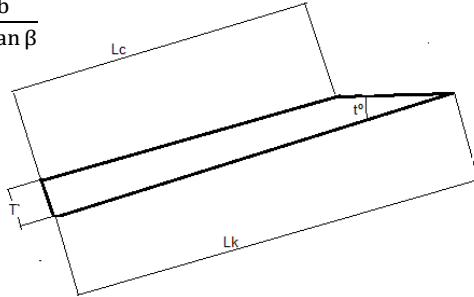
L_c : Eslora mojada en el chine

L_m : Eslora mojada media $= \frac{L_k + L_c}{2}$

$$\lambda = \frac{L_m}{b}$$

La L_m obtenida será 11.263, y por geometría podremos obtener L_k y L_c

$$T' = \frac{b}{2 \cdot \tan \beta}$$



$$L_k = L_c + \frac{T'}{\tan \beta}$$

$$L_m = \frac{L_k + L_c}{2}$$

$$L_k = 12.28$$

$$L_c = 10.19$$



Datos obtenidos para realizar la carena

Volumen de carena:	63.35 m ³
Angulo de astilla muerta:	14 °
C.D.C.:	8 m
Eslora:	26 m
Lk :	12.28 m
Lc:	10.19 m

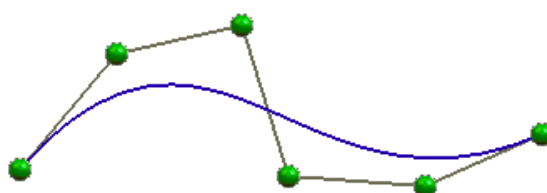
Modelización del casco

Llegados a este punto, vamos a emplear un programa llamado Rhinoceros, que basa la modelización en matemática de curvas NURBS. Explicaremos el proceso paso a paso hasta tener la carena creada.

Curvas y superficies NURBS

El desarrollo estas curvas empezó en 1950 por ingenieros que necesitaban la representación matemática precisa de superficies de forma libre como las usadas en carrocerías de automóviles, superficies de exteriores aeroespaciales y cascos de barcos, que pudieran ser reproducidos exacta y técnicamente en cualquier momento. Las anteriores representaciones de este tipo de diseños sólo podían hacerse con modelos físicos o maquetas realizadas por el diseñador o ingeniero.

Los pioneros en esta investigación fueron Pierre Bézier quien trabajaba como ingeniero en Renault, y Paul de Casteljau quien trabajaba en Citroën, ambos en Francia. Bézier y Casteljau trabajaron casi en paralelo, aunque ninguno de los dos conoció el trabajo que el otro desarrollaba. Bezier publicó primero sus trabajos y por esta razón tradicionalmente se le ha asociado a las Bézier-Splines (splines de Bézier, que son representadas con puntos de control describiendo a la curva misma), mientras que el nombre de Casteljau sólo es conocido por los algoritmos que desarrolló para la evaluación de superficies paramétricas. En la década de 1960 se desarrollaron las NURBS (B-splines Racionales No Uniformes), y se convirtieron en la generalización de las Bézier splines.



Las primeras NURBS fueron usadas en paquetes propietarios de CAD de las compañías automotrices. Posteriormente formaron parte del estándar en paquetes de gráficos por computadora. En 1985, el primer modelador interactivo de NURBS para PC, llamado Macsurf (posteriormente Maxsurf), fue desarrollado por Formation Design Systems, una pequeña compañía en Australia. Maxsurf es un sistema de diseño para cascos, que pretendía la creación de barcos, botes y yates, para los diseñadores quienes tenían la necesidad de alta precisión en el esculpido de superficies. Posteriormente utilizaremos esta herramienta para calcular el casco modelado.



Las NURBS, B-splines racionales no uniformes, son representaciones matemáticas de geometría en 3D capaces de describir cualquier forma con precisión, desde simples líneas en 2D, círculos, arcos o curvas, hasta los más complejos sólidos o superficies orgánicas de forma libre en 3D. Gracias a su flexibilidad y precisión, se pueden utilizar modelos NURBS en cualquier proceso, desde la ilustración y animación hasta la fabricación.

La geometría NURBS tiene cinco cualidades esenciales que la convierten en la opción ideal para el modelado asistido por ordenador.

- Existen varias formas estándar industriales para intercambiar la geometría NURBS. Los usuarios pueden y deberían ser capaces de transportar todos sus modelos geométricos entre los diferentes programas de modelado, renderizado, animación e ingeniería de análisis que hay en el mercado.
- Las NURBS tienen una definición precisa y muy conocida. La geometría NURBS se enseña en las facultades de matemáticas e informática de las universidades más importantes. Eso significa que los vendedores de software especializado, los equipos de ingenieros, las empresas de diseño industrial y las empresas de animación que necesitan crear aplicaciones de software específicas para sus proyectos podrán encontrar programadores capacitados para trabajar con la geometría NURBS.
- Las NURBS pueden representar con precisión objetos geométricos estándar tales como líneas, círculos, elipses, esferas y toroides, así como formas geométricas libres como carrocerías de coches y cuerpos humanos.
- La cantidad de información que requiere la representación de una forma geométrica en NURBS es muy inferior a la que necesitan por separado las aproximaciones comunes.
- La regla de cálculo de las NURBS, que se describe a continuación, se puede implementar en un ordenador de manera eficaz y precisa.

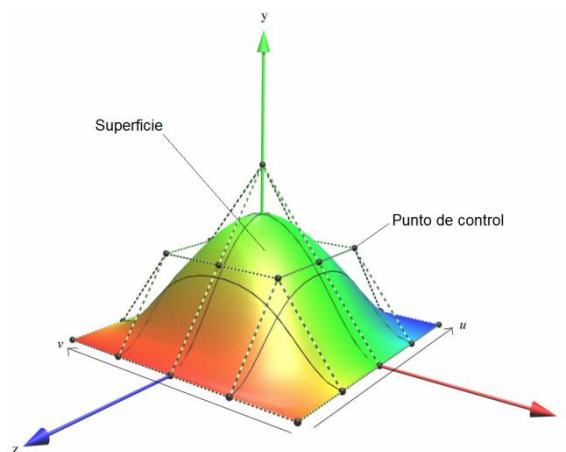


Para mejor comprensión de las curvas y superficies que vamos a emplear, desglosaremos los componentes que las definen, se trata del grado y los puntos de control.

Un grado es un número entero positivo. Este número normalmente es 1, 2, 3 o 5, pero puede ser cualquier número entero positivo. Las líneas y polilíneas NURBS de Rhino son grado 1, los círculos de Rhino son grado 2 y la mayoría de las formas libres de Rhino son grado 3 o 5. A veces se utilizan los siguientes términos: lineal, cuadrático, cúbico y quíntico. Lineal significa de grado 1, cuadrático significa de grado 2, cúbico significa de grado 3 y quíntico significa de grado 5.

Es posible que vea referencias del orden de una curva NURBS. El orden de una curva NURBS es un número entero positivo igual a (grado+1). En consecuencia, el grado es igual a orden-1.

Existe la posibilidad de incrementar los grados de una curva NURBS sin cambiar su forma. Generalmente, no es posible reducir el grado de una curva NURBS y no cambiar su forma.



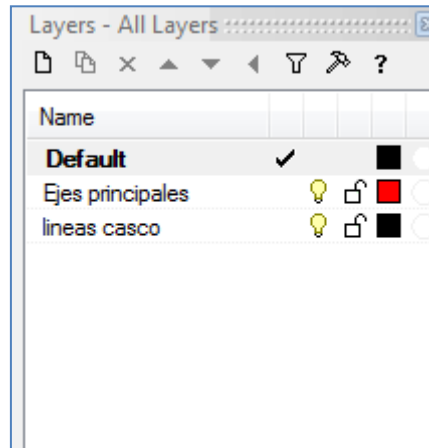
Los puntos de control son una lista de puntos de grado+1 como mínimo. Una de las maneras más sencillas de cambiar la forma de una curva NURBS es mover los puntos de control.

Los puntos de control tienen un número asociado denominado peso. Con algunas excepciones, los pesos son números positivos. Cuando todos los puntos de control de una curva tienen el mismo peso (normalmente 1), la curva se denomina no racional; de lo contrario, se trataría de una curva racional. En NURBS, la R significa racional e indica que una curva NURBS tiene la posibilidad de ser racional. A la práctica, la mayoría de las curvas NURBS son no-racionales. Algunas curvas, círculos y elipses NURBS, ejemplos significativos, son siempre racionales.



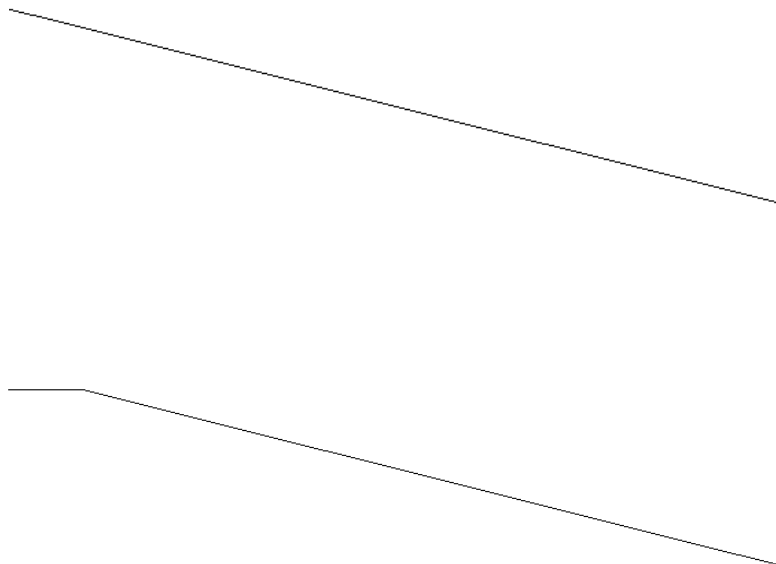
Modelización del casco

Comenzamos por preparar la herramienta de distribución de capas. Esto nos permitirá emplear únicamente las líneas o superficies necesarias en cada momento sin visualizar las que no vamos a emplear y nos puede inducir a error. En este caso, prepararemos una capa con los ejes principales y otra llamada líneas casco como vemos en la figura.



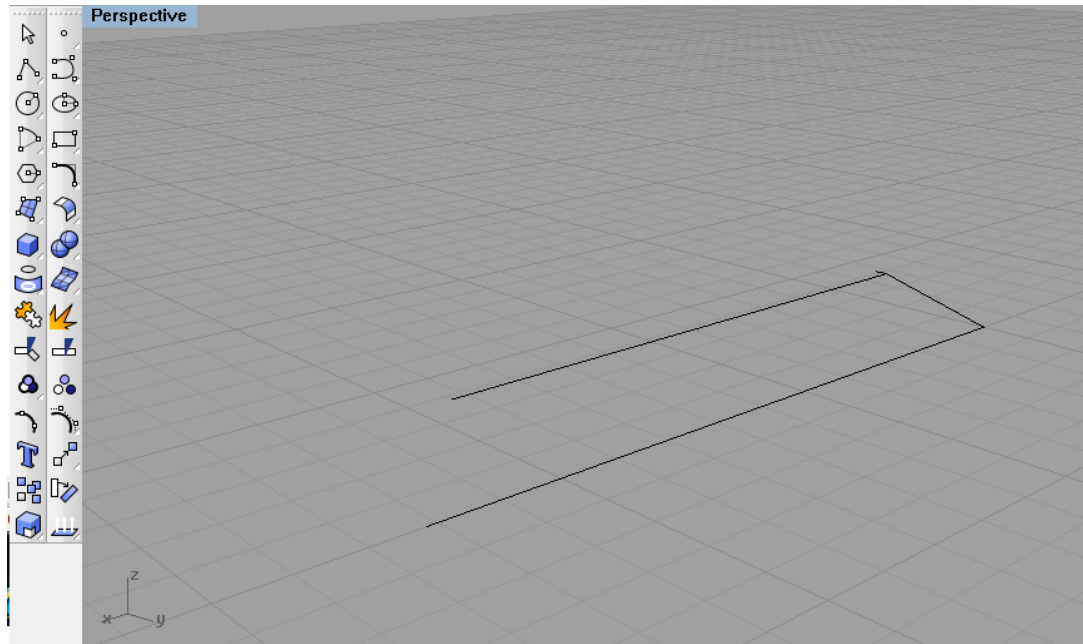
Consideraremos como punto cero del diseño el punto más bajo del espejo de popa del casco. En este punto dibujaremos una línea recta en la dirección Y, y la rotaremos 14°. Una vez rotada la cortaremos de manera que coincida con la manga del barco.

Hemos de dar al chain exterior un valor aproximado al 10% de la semimanga.

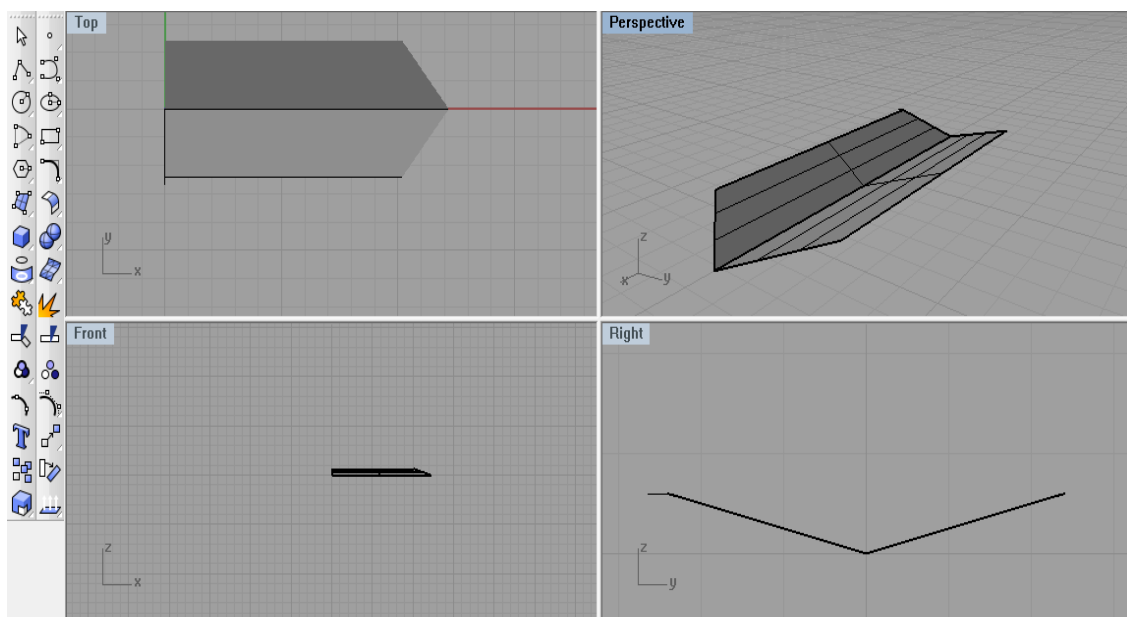




La arista definida será la que corresponda al borde inferior del espejo de popa del yate. El siguiente dato que hemos obtenido anteriormente y debemos emplear es L_c y L_k . Dibujamos estas rectas hacia proa en dirección $(1,0,0)$, la primera en el chain y la segunda en la quilla.

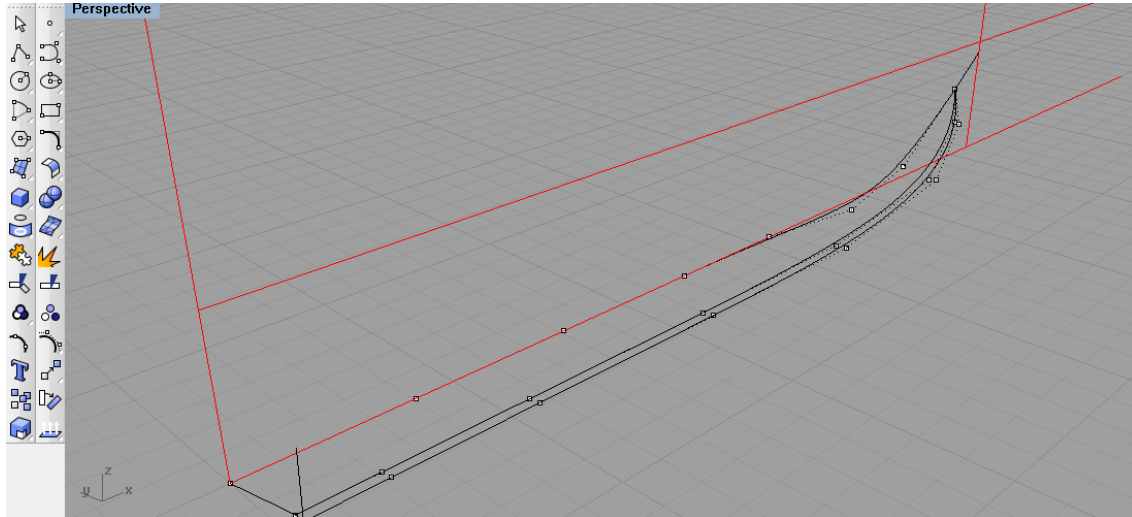


Llegados a este punto si creásemos una extrusión de la línea de fondo tendríamos el plano exacto sobre el que va a planear la embarcación a 30 nudos. Esta superficie ha de ser perfectamente coincidente con la del fondo para poder garantizar los resultados obtenidos en el método de savitsky, ya que es la superficie definida los datos introducidos.

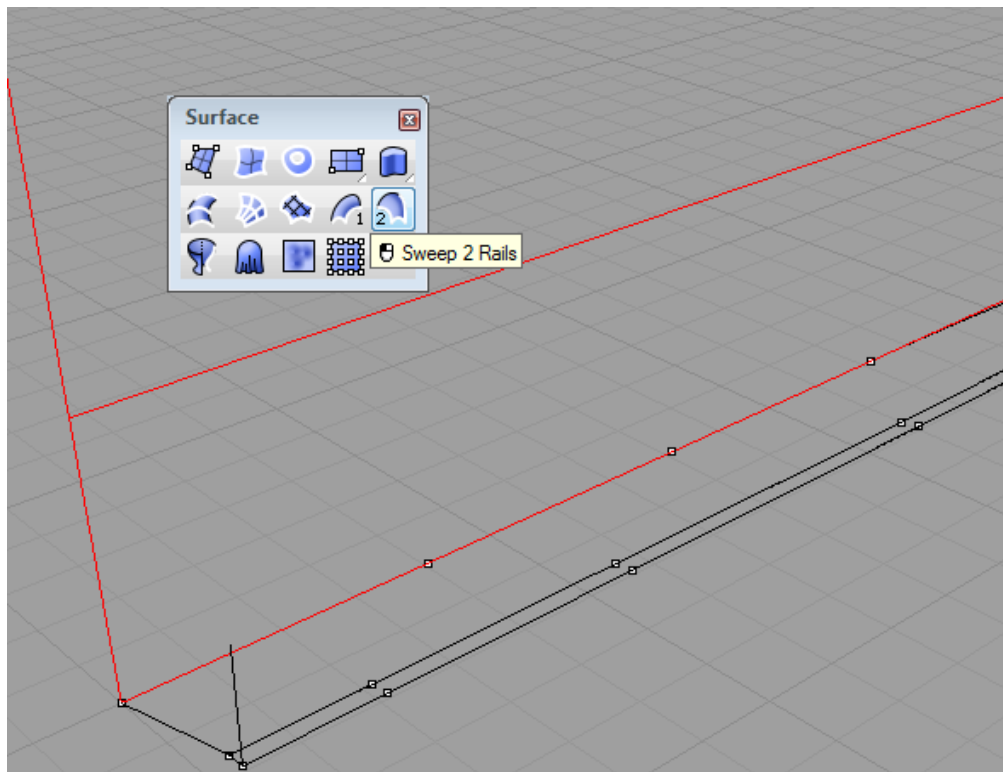




A partir de las dos líneas anteriores, crearemos líneas que definan la parte de proa del casco asemejándolas de manera intuitiva a lo que puede ser la forma esperada. Es preferible que los puntos de control de las rectas sean coincidentes para crear así las superficies matemáticamente más sencillas posibles.

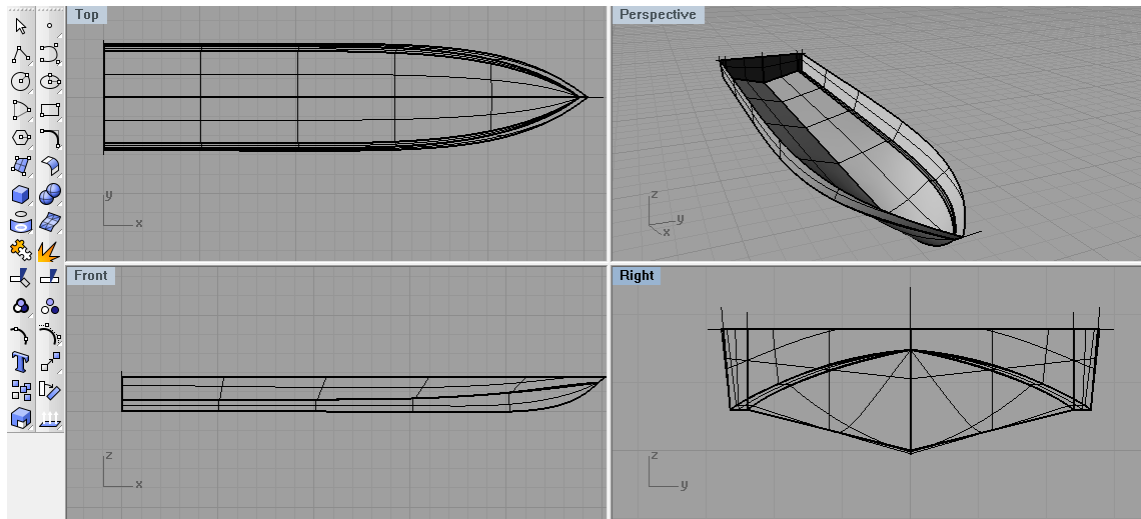


A través de las líneas base que serán las aristas de nuestro casco, emplearemos la herramienta de extrusión a través de dos carriles para conseguir las superficies.

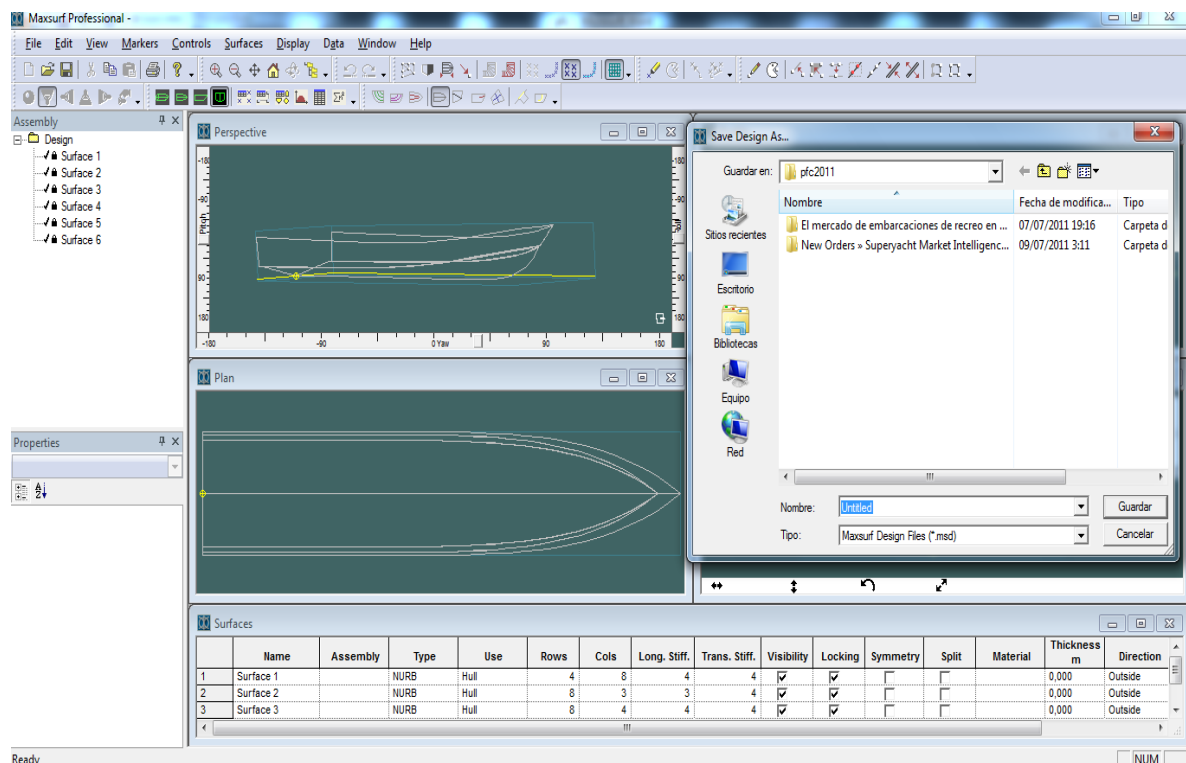




Una vez hemos conseguido todas las superficies, creamos la simetría con la herramienta mirror con el eje x como referencia. El resultado ya es un conjunto de superficies al que corresponden los datos hidrostáticos que tendrá el yate.



Guardamos los datos en formato IGES para abrirlo con Maxsurf y guardarlo en formato .msd





Una vez tenemos este archivo guardado, podemos realizar un estudio hidrostático en Hydromax. Abrimos un nuevo caso de carga para el que introducimos el desplazamiento de 65 toneladas. En la posición longitudinal del centro de gravedad no podemos prever cuál es el punto al 40% de la eslora de flotación porque no sabemos la magnitud de la misma. Para conseguir este dato hemos de realizar un proceso cíclico de ajuste dando un primer valor que creamos aproximado. Sabiendo que la eslora total del casco son 26 metros, podemos estimar una eslora de flotación de 20 metros, por lo que 8 metros corresponde al 40% de la eslora de flotación y analizamos:

Item Name	Quantity	Sounding m	Unit Mass kg	Total Mass kg	Long.Arm m
Lightship	1		65000,0	65000,0	8,000
Total Loadca				65000,0	8,000
FS correction					
VCG fluid					

Draft Amidsh. m	1,244
Displacement kg	65000
Heel to Starboard degrees	0,0
Draft at FP m	1,244
Draft at AP m	1,244
Draft at LCF m	0,958
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	23,436

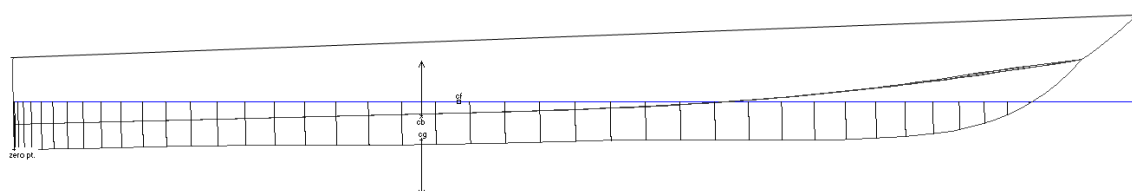
Como vemos, el valor 8 no corresponde al 40% de 23.184. Esto nos indica que el centro de gravedad debe estar más adelantado para estar en el lugar correcto. Comenzamos un proceso cíclico de aproximación por tanteo. Sabiendo que la eslora de flotación obtenida es de 23,446, situaremos ahora el centro de gravedad para el estudio al 40%, que es 9.27. Este procedimiento repetidas veces nos hará converger hasta obtener el objetivo que perseguimos.

Después del proceso cíclico hemos conseguido:

Unit Mass kg	Total Mass kg	Long.Arm m
65000,0	65000,0	9,436
	65000,0	9,436

WL Length m	23,586
Trim angle (+ve by stern) deg	-3,9

Hemos llegado al objetivo del 40%, pero vemos que tenemos una carena con un asiento de 3,9º

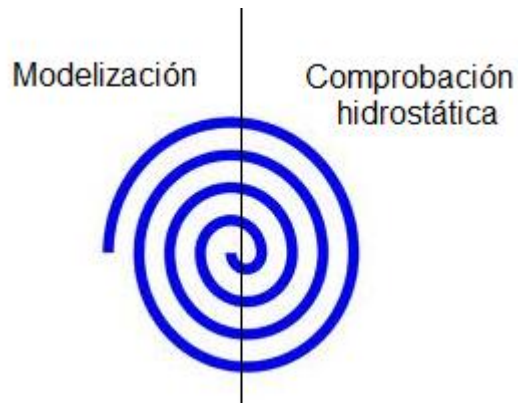




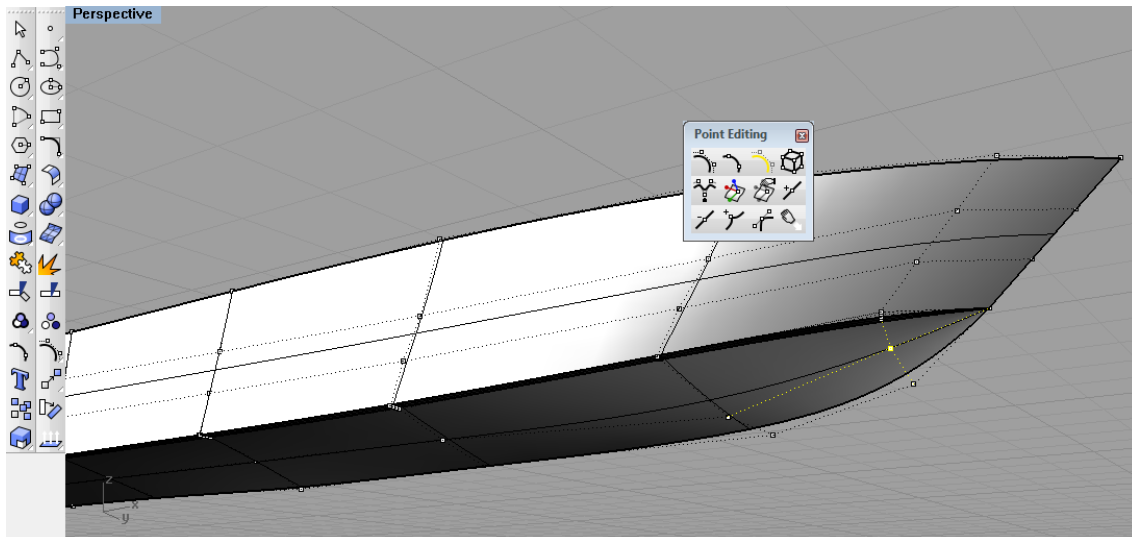
El buque queda flotando con asiento, situación que es inadecuada ya que es un barco de recreo y la comodidad de los pisos sean planos es una condición indispensable.

En estas condiciones podemos asegurar que la embarcación tendrá una navegabilidad correcta y se comportará de la manera que hemos obtenido en la predicción de velocidad, pero no podemos considerarla una carena aceptable. El asiento se puede corregir disminuyendo el volumen de carena en la zona de proa, pero al hacer esta corrección hemos de saber que tiene como efecto inmediato el cambio de eslora de flotación y del centro de carena.

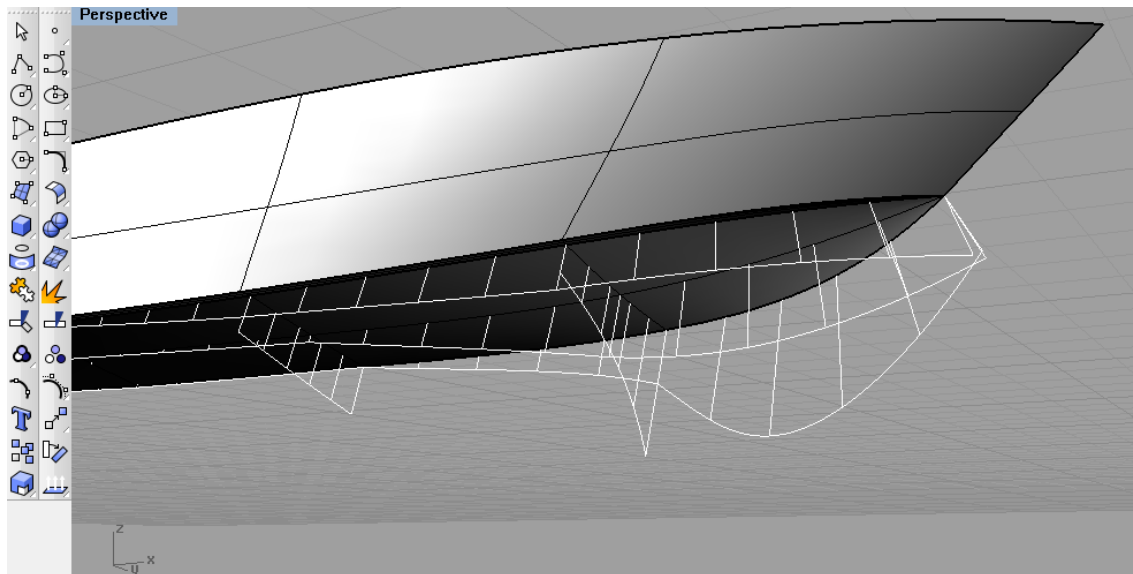
La única solución es realizar un proceso de ajuste entre la modelización trabajando con los puntos de control de proa de la carena e hydromax, que como se plasma en la figura es un proceso de espiral.



Este proceso trata de modificar los puntos de control de la proa consiguiendo afinar o llenar las formas del casco. Para el control de estos puntos, empleamos la herramienta de editar los puntos de control en rhinoceros y modificamos la cordenada x, y o z del punto según consideremos adecuado.



Hemos de garantizar siempre unas formas alisadas de carena, por lo que también editaremos la segunda derivada de las curvas NURBS que componen la superficie para garantizar la continuidad



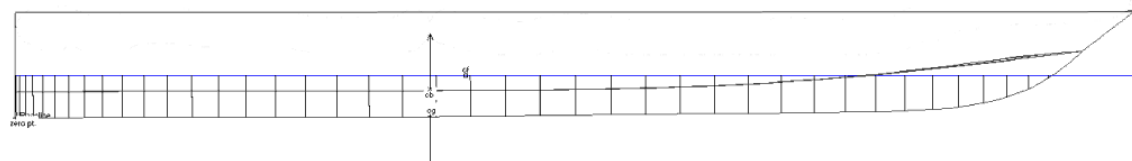
Una vez hecha esta modificación volvemos a comprobar las hidrostáticas. Realizar este proceso sin experiencia puede resultar largo y tedioso, pero los resultados se acaban obteniendo.

Después de realizar varias vueltas al proceso de diseño, hemos obtenido una carena que tiene un asiento correcto para la flotación libre como se indica a continuación. Con este paso, tenemos la carena diseñada y podemos pasar a diseñar cubierta y superestructura.

Unit Mass kg	Total Mass kg	Long.Arm m
65000,0	65000,0	9,634
	65000,0	9,634

Draft Amidsh. m	0,977
Displacement kg	65000
Heel to Starboard degrees	0,0
Draft at FP m	0,977
Draft at AP m	0,977
Draft at LCF m	0,948
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	24,086
WL Beam m	5,381
Wetted Area m ²	130,478

Trim angle (+ve by stern) deg	0,0
-------------------------------	-----

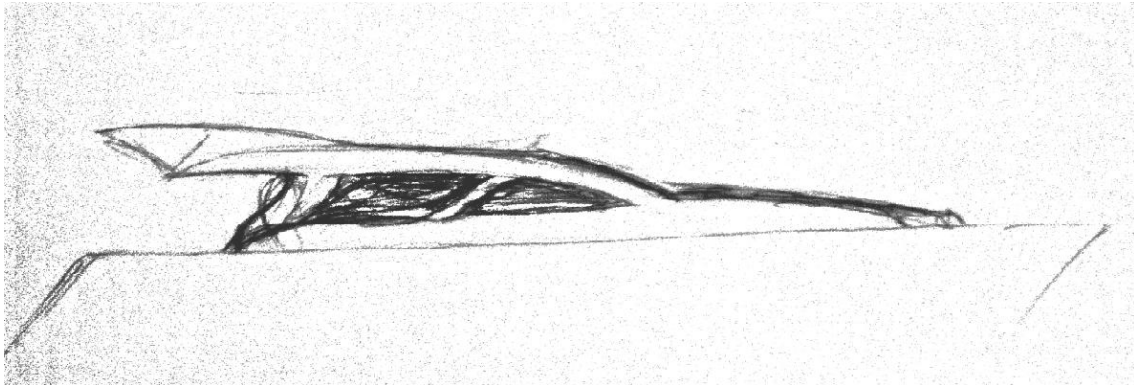




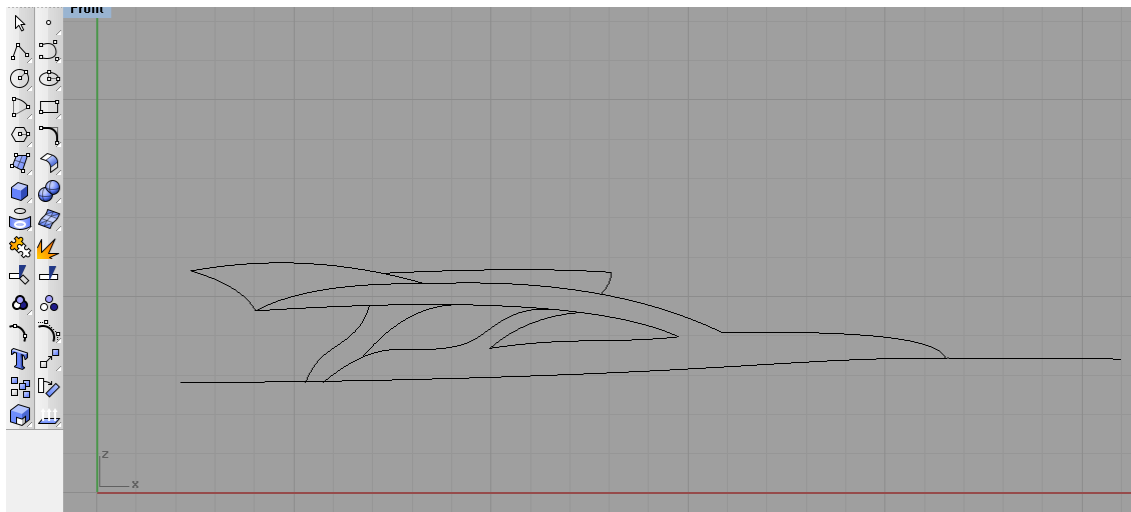
Modelización de la cubierta y superestructura

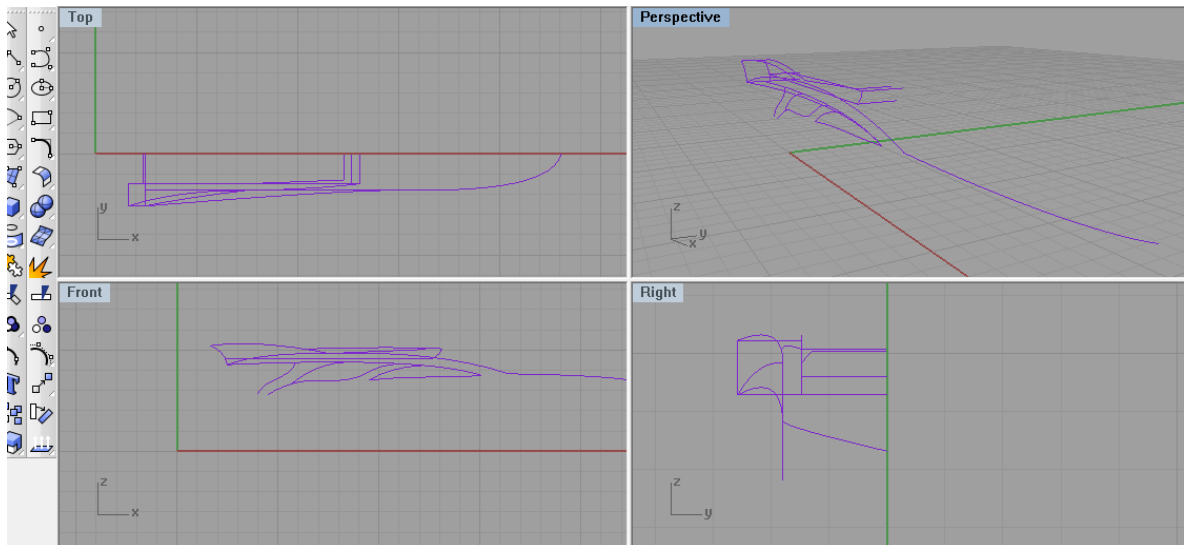
Para comenzar con cubierta y superestructura hemos de tener previstas las formas que van a tener. Dibujaremos las formas que nos parezcan apropiadas desde el punto de vista estético y sobre éstas diseñaremos las cubiertas. En el mercado de los yates de recreo la ingeniería está supeditada a las formas, esa es la razón para que la cubierta ha de adaptarse a la forma de la superestructura y no al revés.

Para esto, realizamos el boceto en papel y lo escaneamos.

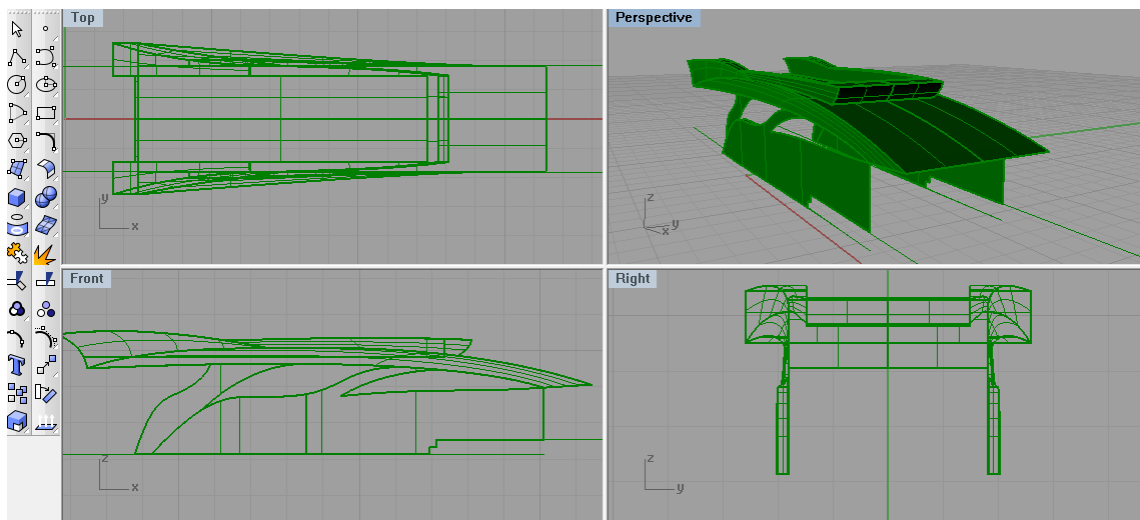


Este boceto lo posicionamos como fondo y modelamos las superficies a partir de los alambres en 2D y 3D



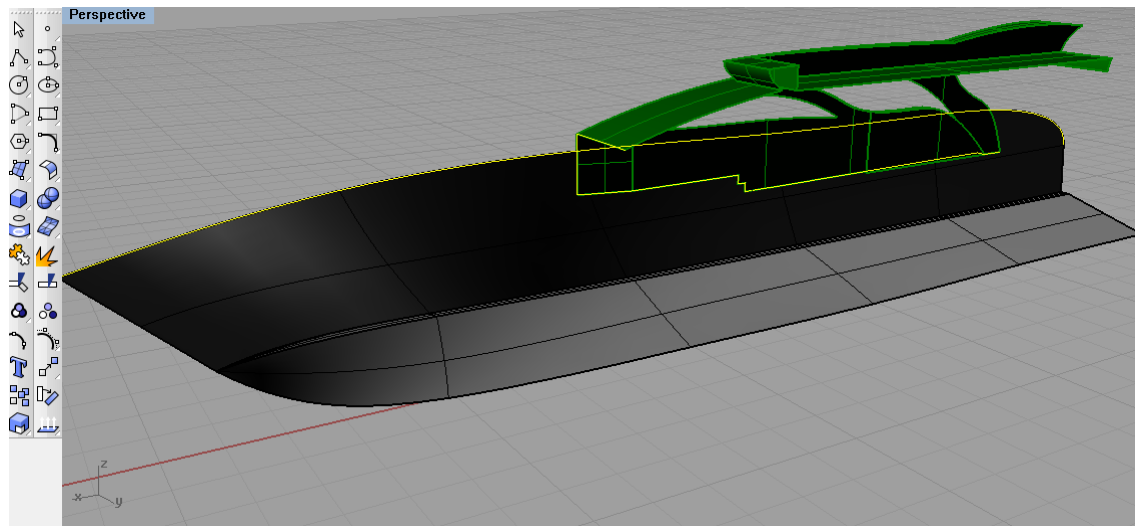


A partir de aquí creamos las superficies

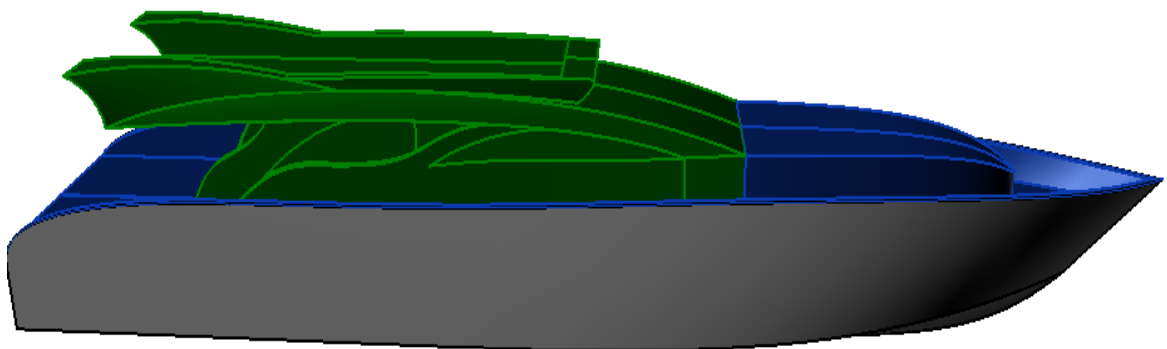
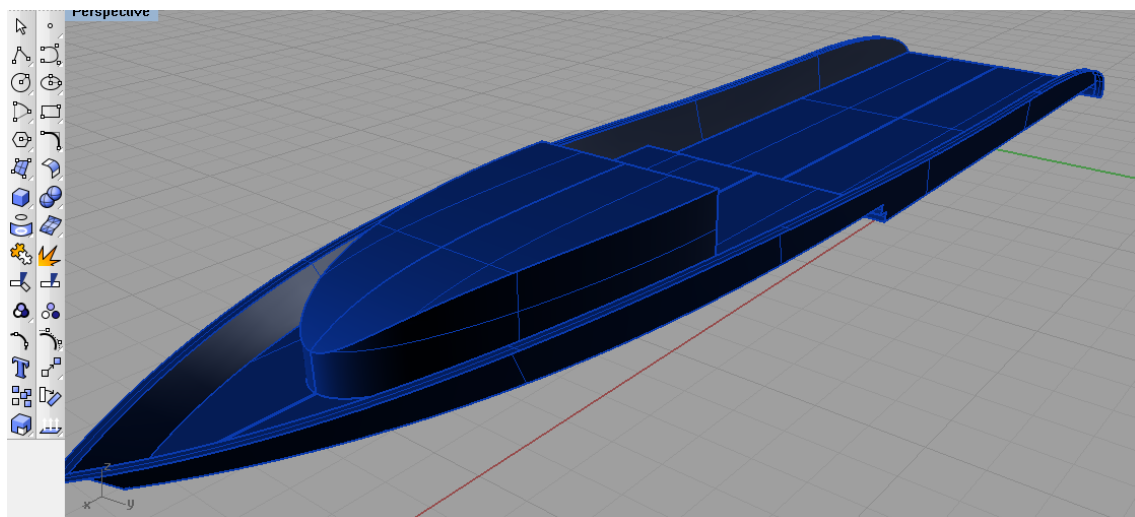


Una vez tenemos la forma de la superestructura, hemos de generar la cubierta para que una los dos elementos anteriores, el casco diseñado para el óptimo funcionamiento y la superestructura que cumpla los requisitos estéticos del diseño.

Para modelar la cubierta, hemos de basarnos en los bordes inferiores de la superestructura y en la regala.



A partir de estos alambres, desarrollamos la cubierta





Diseño y modelización de la estructura

Materiales de la estructura

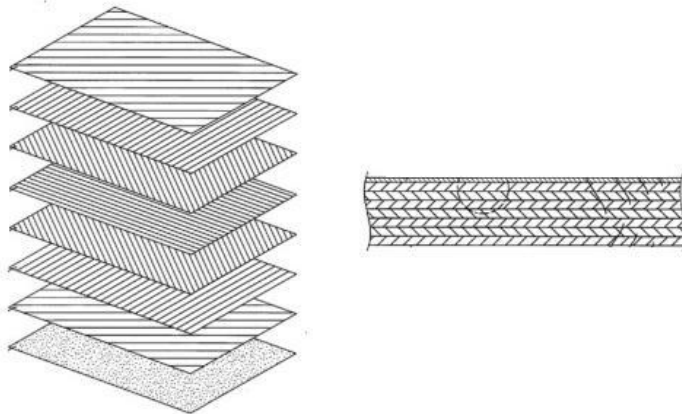
En este bloque conoceremos los materiales que podemos emplear en la construcción con los materiales compuestos. Los Materiales compuestos están formados por la combinación de dos o más materias para alcanzar propiedades superiores a las de los materiales constituyentes por separado. Los principales componentes de los materiales compuestos son las fibras y la matriz. Las fibras proporcionan la mayor parte de la rigidez y la resistencia, la matriz une las fibras para la transferencia de carga entre las mencionadas fibras y soportes de las mismas.

A diferencia de los materiales convencionales (acero, aluminio) ,las propiedades del material compuesto pueden ser diseñadas. Las propiedades del material compuesto pueden variar en un rango amplio de valores, bajo el control del diseñador. El objetivo de esta parte es describir los constituyentes utilizados en la fabricación de dicho material.

Fibras

Las fibras se utilizan en materiales compuestos, ya que son ligeras, rígidas y fuertes. Las fibras son más fuertes que la masa del material que las constituye. Esto se debe a la orientación preferencial de las moléculas en la dirección de la fibra, y por el número reducido de los defectos presentes en la fibra, al contrario que en los materiales a granel.

Las fibras se utilizan como compuestos continuos unidireccionales, utilizando un gran número de ellos en una placa delgada llamada lámina o capa. Una lámina unidireccional tiene el máximo de rigidez y fuerza a lo largo de la dirección fibra y el mínimo en la dirección perpendicular a ellas. Si se desean las mismas



propiedades en otra dirección en el plano se deben utilizar fibras orientadas o multiaxial .

Vamos a conocer los tipos de fibra que se podremos utilizar en la construcción de embarcaciones. Existen mas tipos de fibras, pero no se consideran apropiadas para este tipo de fabricación por su muy elevado precio.

Fibras de vidrio

La fotografía muestra una fibra continua de tipo E, el cual es más común en los refuerzos. Las propiedades físicas se corresponden con las de los metales , pero la densidad de las capas es mucho menor. El vidrio E está compuesto de fibras incombustibles, resistentes a la



temperatura hasta aprox. 400 ° C, y resistentes a la mayoría de los productos químicos y la erosión.

Las fibras de vidrio se fabrican con el método de hilo derretido. El dibujo mecánico calienta los flujos de masas de vidrio bajo los efectos de la gravedad a través de cientos de agujeros en una boquilla de hilado, la cual es una placa de platino. Estas fibras continuas se pueden extraer indefinidamente a una velocidad de tres a cuatro kilómetros por un minuto. Convertido en un delgado filamento, el vidrio, en otro caso un material quebradizo, tiene alto grado de flexibilidad y resistencia a la fractura. Las fibras

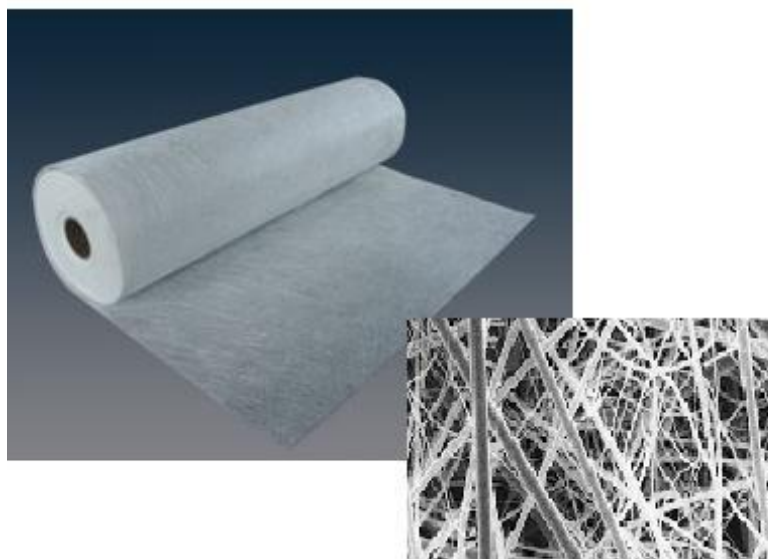
tienen un diámetro de aprox. 9 - 15 micras y, cuando cien o más de ellos son agrupados, se procesan para hacer tejidos de filamentos de vidrio.

Las fibras de vidrio E han adquirido la mayor importancia como el fortalecimiento de material para plásticos. La E significa “electro”, un recordatorio de que este vidrio fue originalmente utilizado por industrias de la ingeniería eléctrica.

Para la producción de vidrio E, la masa fundida de vidrio se fabrica a partir de cuarzo puro a la que se añaden piedra caliza, caolín, ácido bórico. Además de SiO₂ (sílice), también contiene cantidades diferentes de diversos óxidos metálicos. La composición determina las propiedades de los productos.

En el procesado los tejidos acabados son suaves y se colocan e impregnan y fácilmente. Se colocan una capa tras otra, impregnando cada una con una capa de resina, la cual rigidiza una capa y sirve para la adhesión de la siguiente.

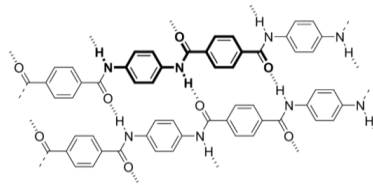
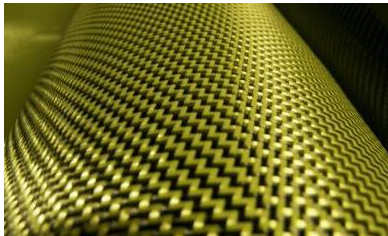
Propiedades físicas: El Deterioro de la adherencia es posible dados los problemas que puede ocasionar la humedad en el laminado. Una medida de la calidad del adhesivo es la llamada cizalla interlaminar, como sabemos la distribución de una fuerza de tracción aplicada a las fibras también da lugar a fuerzas de cizallamiento, por lo que la adherencia directa afecta la resistencia a la tracción.



Fibras de aramida

Su nombre está formado de la composición “poliamidas aromáticas”. Se Descubrió en 1965 por la empresa DuPont, la cual desde entonces lo desarrolla y comercializa bajo el nombre de Kevlar[®]. Se caracteriza por su color amarillento. Las fibras de aramida de alto módulo son hiladas de un líquido-cristalina solución de polyparafenileno tripaliamida en ácido sulfúrico concentrado.

Las fibras de aramida presentan una alta resistencia al impacto, baja densidad, buena resistencia térmica y estabilidad dimensional, buena amortiguación de vibraciones, y una alta capacidad de absorción de energía. Como dato en contra, podemos citar la resistencia transversal y resistencia de compresión de la aramida de plástico reforzado, en comparación con GRP es considerablemente más bajo.



Tipos:

- **Fibras de alto módulo**, tales como fibras de Kevlar[®] 49 o Twaron[®] HM se utilizan predominantemente para el alto impacto y alta resistencia al desgaste.
- **Fibras de módulo bajo**, tales como fibras de Kevlar[®] 29 o Twaron LM[®] se utilizan para la materiales blandos balísticos (chalecos antibalas y blindaje)

Las fibras de aramida que tienden a absorber la humedad. Después de un largo período de almacenamiento sin protección el contenido de agua pueden llegar al 7%, razón por la que estas telas deben secarse en un horno a 120 ° C durante unas a diez horas antes de ser procesadas.

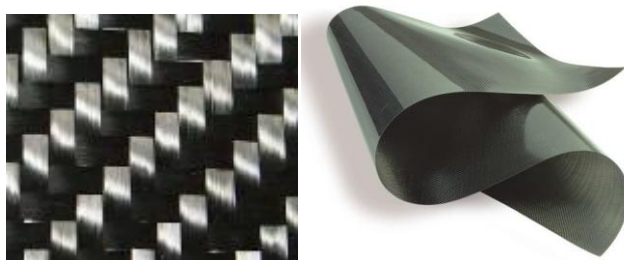
Similares a las fibras de carbono, las fibras de aramida presentan un coeficiente negativo de la expansión térmica. La contracción de fibras se da a altas temperaturas mientras que la matriz de resina se expande estando bajo esas mismas condiciones. Debido a estas fuerzas se restringe el uso para ciertas temperaturas

Las fibras no se funden y exhiben buenos efectos ignífugos. La conductividad térmica es baja. A altas temperaturas comienzan a aramidas carbonizadas, pero aún presentan una resistencia a la tracción residual del 50%, incluso después de varios días a temperaturas de 250 ° C.

Propiedades químicas: Buena resistencia a disolventes, combustibles, lubricantes, agua salada, etc. Son resistentes al ataque de hongos y bacterias. Las fibras de aramida son muy sensibles a la radiación UV.

En primer lugar, la luz visible de color amarillo sufre decoloración y se convierte en un color marrón bronce. Después de tiempos de exposición más altos, las fibras pierden hasta 75% de su fuerza. Siempre que sea posible, debe aplicarse una superposición de absorción de UV a los laminados de aramida,. En el caso de embarcaciones este tema está solucionado por la existencia del gel-coat.

Fibras de carbono



La primera vez que se fabricaron fibras de carbono, fue en el siglo XIX cuando la seda artificial fue carbonizada para producir los filamentos de lámparas incandescentes. No mucho más tarde, a finales de los años sesenta, el refuerzo de fibras de carbono hizo su entrada en el mercado en pequeñas cantidades y con unos precios altísimos (alrededor de 1500 euros por kilogramo).

La primera de estas fibras de carbono se dispone únicamente en forma continua, cables que se utilizaron en la industria aeroespacial. Desde cerca de 1975 el carbono en fibras se está produciendo en todo el mundo a escala industrial.

La de fibra de carbono que se produce a partir del poliacrilonitrilo (PAN), cuyo precursor y características son de alta fuerza, alto módulo de elasticidad, y de baja densidad. En los últimos diez años, la proporción de fibras de carbono en los compuestos de alto rendimiento ha venido experimentando un crecimiento constante. Este nuevo material se está utilizando en muchas ramas de la industria, por ejemplo, la aviación, la construcción de máquinas, de coches, la ingeniería médica, la energía eólica en instalaciones de alta mar , y por supuesto, lo que más nos interesa, en la construcción de diferentes estructuras navales.

Tiene alta resistencia y alto módulo de elasticidad, además de una baja densidad, es en este último factor en el que reside su éxito. Posee tendencia a la baja fluencia y buena amortiguación de vibraciones unido a la buena resistencia a la fatiga del material.

Los valores de resistencia son superiores a los de la mayor parte de los metales y a la gran mayoría de los diferentes materiales compuestos.

Baja expansión térmica baja conductividad térmica . Las fibras de carbono son incombustibles. Con la exclusión de oxígeno son estables a temperaturas de hasta 3000 ° C, con la exposición al oxígeno que sufren pérdidas en sus prestaciones. Las fibras de carbono tienen buena conductividad, lo que ha llevado a experimentar en algún caso a utilizar la estructura de la embarcación como circuito eléctrico para sistemas muy simples.

Para hacer laminados, fibras de carbono se puede mezclar con tejidos, o productos de vidrio. Cada capa de corte de tela se impregna por ejemplo, con resina epoxi para producir un laminado. Al contrario de lo que ocurre con los tejidos de vidrio, que se vuelven transparentes cuando se humedecen, las fibras de carbono sigue siendo un uniforme negro. Las burbujas de aire y las zonas mal impregnadas no se pueden detectar visualmente. El trabajo debe realizarse con cuidado con una brocha y rodillo para prevenir ese tipo de vacíos. Empapar a fondo sin inclusiones de aire es decisiva para la resistencia final.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

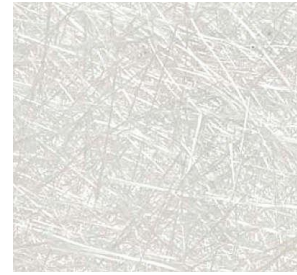
Fiber	Modulus [Gpa]	Tensile Strength (*) [GPa]	Compression Strength [GPa]	Elongation [%]	Density [gr/cc]	Longitudinal Thermal Expansion [10 ⁻⁶ /°C]	Transverse Thermal Expansion [10 ⁻⁶ /°C]	Poisson Ratio	Thermal Conduct [W/m°C]	Maximum Operating Temperature [°C]	Resistivity [micro ohm-m]
E-Glass	72.345	3.45	—	4.4	2.5-2.59	5.04-5.4	—	0.22	1.05	550	—
S-Glass	85	4.8	—	5.3	2.46-2.49	1.6-2.9	—	0.22	1.05	650	—
C-Glass	69	3.31	—	4.8	2.56	6.3	—	—	1.05	600	—
D-Glass	55	2.5	—	4.7	2.14	3.06	—	—	—	477	—
Carbon											
T300	230	3.53	—	1.5	1.75	-0.6	7-12	0.2	3.06	—	18
M50	490	2.45	—	0.5	1.91	—	—	—	54.43	—	8
AS2	227	2.756	—	1.3	1.8	—	—	—	8.1-9.3	—	15-18
AS4-D	241	4.134	—	1.6	1.77	-0.9	—	—	8.1-9.3	—	15-18
IM6	275.6	5.133	—	1.73	1.74	—	—	—	8.1-9.3	—	15-18
HMS4	317	2.343	—	0.8	1.8	—	—	—	64-70	—	9-10
UHM	441	3.445	—	0.8	1.85	—	—	—	6.5	—	120
P55	379	1.9	—	0.5	2	-1.3	—	—	120	—	8.5
P100	758	2.41	—	0.32	2.16	-1.45	—	—	520	—	2.5
Kevlar 29	62	3.792	—	—	1.44	—	—	—	—	—	—
Kevlar 49	131	3.62	0.72	2.8	1.45	-2	59	0.35	0.04	160 (#)	—
Kevlar 149	179	3.62	0.69	1.9	1.47	—	—	—	—	—	—
Technora H	70	3	0.6	4.4	1.39	-6	59	0.35	—	160 (#)	—
Boron	400	2.7-3.7	6.9	0.79	2.57	4.5	0.2	0.2	38	315 (#)	—
SCS-6	427	2.4-4	—	0.6	3	4-4.8	—	0.2	10	—	—
Nextel 720	260	2.1	—	—	3.4	6	—	—	—	1200 (#)	—



Formas de presentación de los materiales compuestos

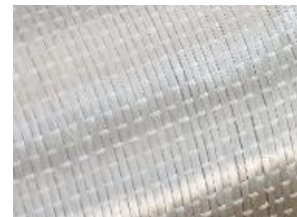
MAT

Se trata de fibras discontinuas obtenidas al cortar fibras largas. Estas fibras cortas se disponen en telas de forma aleatoria, tienen escasas propiedades mecánicas, pero tienen precios muy económicos y son fáciles de empapar con resina.



UNIDIRECCIONAL

Los tejidos unidireccionales son un tipo de refuerzo diseñado para aplicaciones que requieren un alto refuerzo en una sola dirección.



BIAXIALES Y TRIAXIALES

Se trata de tejidos que adoptan direcciones de 0° , 45° y 90° , de manera que se pueden ajustar a zonas donde las solicitaciones del refuerzo tiene mas de una dirección principal.



WOVEN ROVING

Se trata de un tejido dispuesto en 0° y 90° , pero en este caso el tejido se intercala, de manera que cada fibra pasa por debajo de la anterior y por encima de la siguiente. De esta manera se consigue un tejido entrelazado.





Materiales matriz (resinas)

El material de la matriz mantiene las fibras unidas, y por lo tanto la transferencia de las cargas entre ellas. También protege las fibras de la abrasión mecánica, del medio ambiente y de una porción pequeña de las cargas, particularmente el esfuerzo transversal, el esfuerzo interlaminar, y el esfuerzo cortante. Debemos tener en cuenta que las propiedades de la matriz dependen en gran medida de la temperatura de funcionamiento.

Los primeros pasos del diseño de los compuestos son de selección o de un método de procesado y de la resina empleada para el mismo. La selección de una matriz se guía por las propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión, y la inflamabilidad. No todas las resinas pueden ser procesadas por todas las técnicas de procesado. La resina y la técnica de tratamiento se seleccionan simultáneamente.

Los dos tipos de resina empleados en los laminados de embarcaciones por excelencia son el epoxy, vinilester y poliéster, veamos las ventajas e inconvenientes de cada uno.



Ventajas de la resina epoxy frente al compuesto de poliéster en la construcción

En cualquier aplicación de alta tecnología estructural, donde la fuerza, rigidez, durabilidad y el mínimo peso son necesarios, las resinas epoxy son las resinas elegidas como matriz del compuesto. Esta es la razón por la que en aeronaves, en aplicaciones aeroespaciales, así como las carreras de lanchas, los epoxis han sido la elección durante años. A pesar de esto, es llamativo como el 95% de las embarcaciones de recreo menores de 60 pies todavía se hacen con resina de poliéster. La principal consideración para la selección de materiales compuestos para la mayoría de los constructores es el costo.

Como regla general, las resinas epoxy son el doble de caras que el vinilester y las resinas de vinilester son el doble de caras que el poliéster. Dado que la resina puede constituir el 40 y el 50% del peso de un compuesto, esta diferencia de precios se considera como un impacto significativo en el coste de la lámina.

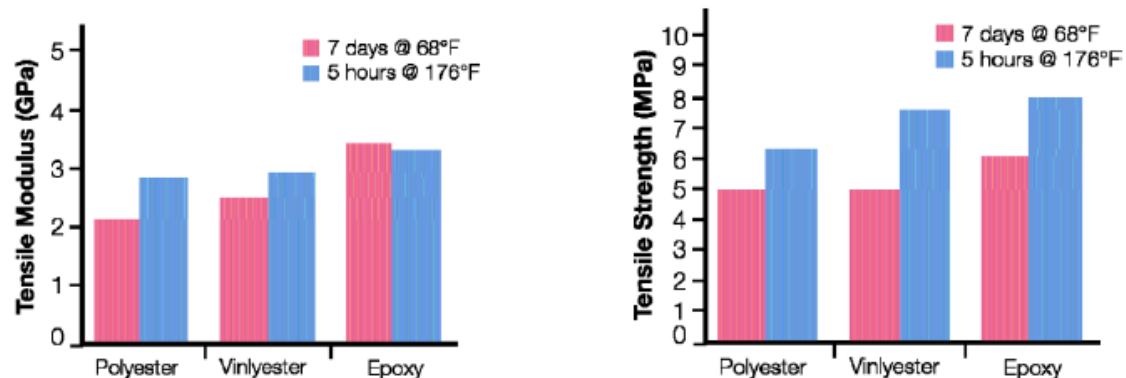
Sin embargo, la calidad y la mejora de la durabilidad (por lo tanto mejor reventa valor) puede ser muy significativa. Las resinas epoxídicas tienen ventajas sobre los resultados de poliéster y vinilester en cinco áreas principales:

- Una mejora de las propiedades adhesivas
- Superioridad de las propiedades mecánicas
- Mejora de la resistencia a la fatiga y micro grietas.
- Reducción de la degradación por el agua
- Aumento de la resistencia a la ósmosis

Las resinas epoxídicas tienen mucho mejor las propiedades adhesivas que el poliéster y que las resinas de vinilester. La alta adherencia es especialmente importante en la resistencia a las micro-grietas cuando se utiliza la construcción de sándwich. El adhesivo entre el núcleo y el

laminado es generalmente el eslabón más débil de la cadena de laminado, y la superioridad de las propiedades adhesivas de la resina epoxi aumentan en gran medida la fuerza de la interfaz entre las pieles y el núcleo.

Las dos importantes propiedades mecánicas de la resina de son su resistencia a la tracción y la rigidez. La siguiente figura muestra los resultados de pruebas realizadas sobre el poliéster, y vinilester y los sistemas de resina epoxi, curadas a temperatura ambiente.



Después de un período de curación de siete días se puede ver que la resistencia a la tracción de la resina epoxi es de 20 a 30% más altos que los de poliéster y vinilester. Además después de curar, la diferencia es cada vez mayor. Cabe señalar que las embarcaciones construidas con resinas de poliéster no suelen curarse en el astillero, mientras que embarcaciones construidas con resina epoxi tienen ese deber. Sin embargo, en la práctica todos los barcos se curan de manera natural con el sol.

Las consecuencias de un mal proceso de curación son de dos tipos:

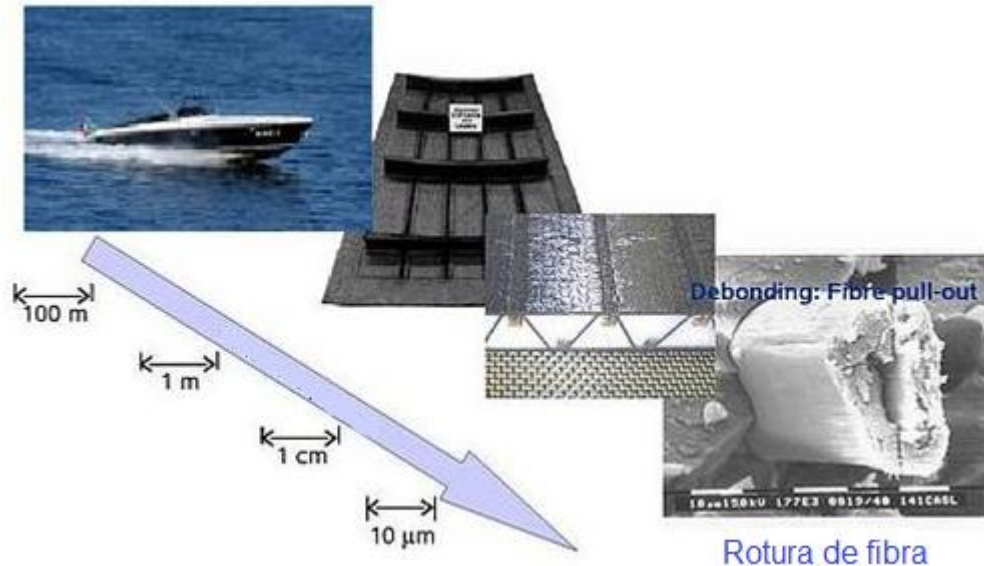
- Estructuralmente: Un epoxi sin curar correctamente tendrá la resistencia a la tracción con de módulo rigidez cerca del doble que la de un puesto no curado de poliéster o de vinilester.
- Estéticamente: Poliéster y resinas de éster de vinilo contraen hasta el 7% volumétricamente porque la resina sigue curando durante largos períodos de tiempo, estos efectos pueden no ser inmediatamente evidentes, pero con el paso del tiempo se pueden crear grietas en la superficie.

En comparación, los epoxis contraen un 2% menos y un laminado de epoxy es mucho más estable y mejor cosméticamente transcurrido un largo período de un tiempo que uno de poliéster.

En la mayoría de los casos, un laminado de casco bien diseñado nunca será sometido a su tensión de rotura de manera definitiva a las propiedades físicas de la resina. Mucho antes de la carga de fallo, el laminado alcanzará un nivel de tensión en que la resina fibra comenzará



romperse. Esto se conoce como “micro-grietas transversales” y aunque el laminado no ha fracasado completamente en este punto, el proceso de delaminado ha comenzado.



Desde este punto se produce un largo camino antes del fracaso del laminado. En un ambiente como el agua o aire húmedo, las microgrietas del laminado absorberán más agua que un laminado sin microgrietas. Esto conduciría a un aumento de peso, un ataque de la humedad en la resina, la pérdida de rigidez y con el tiempo, una importante rebaja de las propiedades.

La capacidad superior de soportar las cargas cíclicas es un elemento esencial en los epoxis frente a resinas de poliéster. Esta es una de las principales razones por las que se eligen resinas epoxi casi exclusivamente para las estructuras de aviación.

Construcción tipo sándwich con espuma

Además de los tipos de materiales utilizados, debemos contemplar el tipo de construcción que se lleva a cabo. Para la construcción convencional emplearemos material monolítico, es decir, capa a capa del mismo material. Para la construcción avanzada emplearemos la construcción tipo sándwich, y para ello haremos una explicación de sus principios.

Desde hace más de 60 años los núcleos de espuma se han utilizado en aplicaciones marinas para aligerar, endurecer y fortalecer todo lo que forma la estructura del barco. Pero, ¿qué es exactamente el núcleo de espuma? ¿Qué tipo usar, y donde la puedo utilizar? Con la aparentemente interminable variedad de materiales básicos de espuma en el mercado actual,



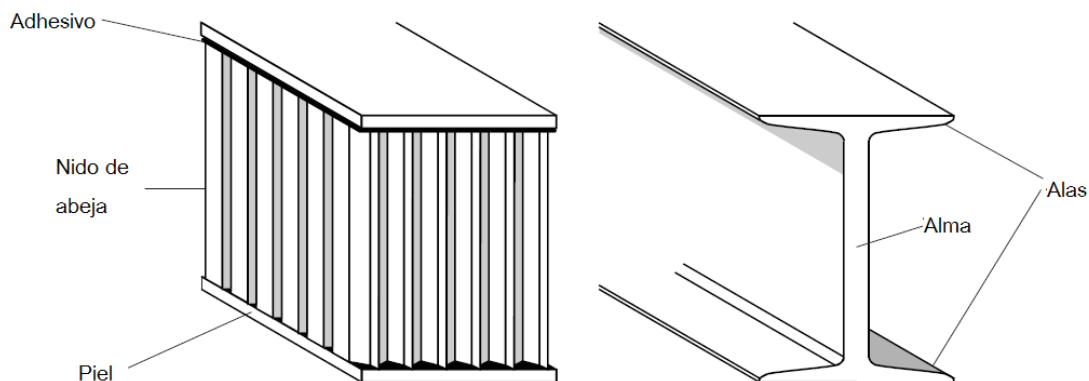
puede ser frustrante encontrar el núcleo de espuma ideal para su aplicación particular. En esta parte del proyecto, se valorarán las propiedades y los procedimientos correctos de fabricación que participan en la construcción de sándwich de núcleo de espuma.

El primer material de espuma específicamente formulado para un medio ambiente marino es el poli cloruro de vinilo (PVC) y mezcla de isocianato (simplemente llamado espuma de PVC), creado en Alemania por el Dr. Lindemann a finales de los años 30 y 40. Se sabe que esta primera versión de espuma de PVC se utilizó en los barcos de la clase E alemanes, e incluso en el famoso acorazado 'Bismarck'. Tras la Segunda Guerra Mundial, Francia adquirió la fórmula. A partir de ahí, la fórmula da licencia a empresas en Suecia, Suiza, y Alemania, que mantiene el desarrollo de la receta original. Después de muchos años de las diferentes filiales y empresas, se consolidan dos principales proveedores de espuma de PVC, Diab y Airex / Herex. Otras espumas químicas basadas en componentes que no son de PVC también se han desarrollado a lo largo de los años, entre ellas:

- PVC léneal (también formulado originalmente por el Dr. Lindemann),
- poliestireno (PS),
- styreneacrylonitrile (SAN),
- poliuretano (PUR),
- polyisocyanurate (PIR),
- polimetilmetacrilato (PMI),
- polyetherimide (PEI)
-

Cada tipo de espuma tiene diferentes propiedades físicas y mecánicas debido a sus diferencias químicas, pero todas se utilizan para la misma función: para aligerar, endurecer y fortalecer, el principio del uso de los sándwich.

Principio del sándwich



El concepto del sándwich se basa en dos ideas principales: el aumento de la rigidez en flexión de una barra o panel y hacerlo sin necesidad de añadir el exceso de peso. Para un sándwich de



haz simétrico (con las capas del mismo espesor y las mismas propiedades de los materiales), la fórmula es la rigidez de flexión:

$$D = EI = \frac{E_f b t^3}{6} + \frac{E_f b t d^2}{2} + \frac{E_c b c^3}{12}$$

Siendo:

E_f = módulo de elasticidad de las capas.

E_c = módulo de elasticidad de la espuma.

B = Ancho de la Viga.

d = distancia entre el extremos centroides

t = Espesor de una capa.

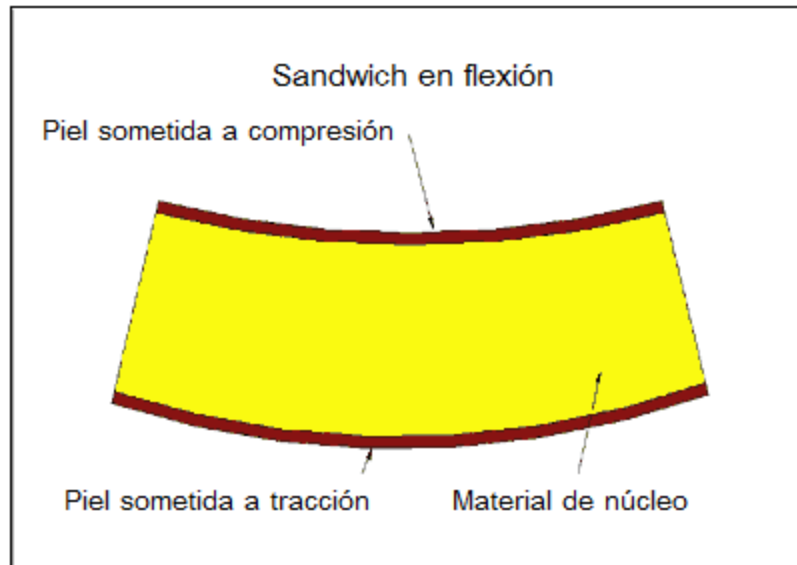
c = espesor nominal .

Si las pieles son relativamente delgadas en comparación con el núcleo ($d / t > 6$) y el material básico es considerablemente más débil que la capa ($E_f / E_c \cdot t^2 / c^3 > 17$), la ecuación puede reducirse a:

$$D = EI = \frac{E_f b t d^2}{2}$$

De esta ecuación, es evidente que el núcleo de material no contribuye directamente a la rigidez del panel, (al menos en los núcleos de menor densidad), pero la distancia entre las capas es el factor decisivo. El aumento de la variable “ d ” tendrá un efecto mucho mayor sobre la rigidez de flexión que cualquier otro componente de la ecuación, ya que cada variable tiene una contribución lineal. Cuando se trata con mayor densidad de núcleos y laminados de capa más gruesa, la ecuación completa se deben utilizar con el fin de predecir adecuadamente la rigidez. Esto se debe a que la alta densidad de núcleo contribuye a la rigidez en el primer caso, y la absorción del esfuerzo cortante.

En la flexión, la capa más baja sufre la tracción, mientras que la capa superior (o interior) es la que se expone a la compresión (Ver Figura 1). A fin de que el sándwich funcione correctamente, el adhesivo entre las capas y el núcleo debe ser capaz de transferir las cargas, y, por tanto, ser por lo menos tan fuerte como el material base. Sin un buen vínculo, las tres entidades trabajan por separado y la rigidez se pierde. Esta es la razón por la que la correcta unión núcleo/capa es tan crítica.



Como se señaló anteriormente, la rigidez de flexión de la estructura depende de dos factores: el material de rigidez o módulo, y la geometría de la sección transversal o momento de inercia. Las propiedades del material son a menudo difíciles de cambiar (y a veces caro), por lo que un cambio en la geometría que se puede hacer para aumentar la rigidez sin comprometer la fuerza u otras propiedades de una capa. La figura nos muestra la diferencia de rigidez, fuerza, peso y un núcleo de material cuando se coloca entre las capas del laminado. (Estos datos son aproximaciones).

<u>Sandwich - t</u>	<u>Sandwich - 2t</u>	<u>Sandwich - 4t</u>
peso: 1	peso: 1	peso: 1
flexión: 1	flexión: 6	flexión: 6
rigidez: 1	rigidez: 12	rigidez: 48

El aumento de la altura de la sección transversal, aumenta 48 veces la rigidez, mientras que la flexión aumenta 6 veces, y todas con un aumento en el peso prácticamente nulo. El aumento

de la resistencia y rigidez permite a los constructores a utilizar menos capas de laminado en el sandwich, dando lugar a estructuras de mucho menor peso. La Disminución de peso ayuda a aumentar la velocidad y la aceleración, aumenta la capacidad de carga, y reduce el consumo de combustible.

Otras ventajas de la construcción sándwich son: mayor aislamiento, un mejor impacto / resistencia a golpes, la atenuación de sonido, y la reducción de la mano de obra.

El material básico, que es generalmente en la construcción celular, proporciona una menor conductividad.

La Mano de obra se reduce debido al menor número de capas utilizadas del material, que se utiliza. Además, la mayor rigidez del sándwich reduce el número de refuerzos necesarios.

Con menos refuerzos, y, en consecuencia, mayor tamaño del panel, el impacto de energía se disipa más fácilmente. El material de núcleo celular reduce el efecto de resonancia o “piel de tambor”, evitando la contaminación acústica.

Algunas desventajas que incluye la construcción de panel sándwich es el coste de material del núcleo empleado y el costo de aprendizaje. En algunos casos, el ahorro de mano de obra no compensa el precio del núcleo del laminado. También es una desventaja la atención y cuidado que se debe tener.

Los empleados deben ser conscientes de todos los posibles problemas que podrían ocurrir si el núcleo no se pega a la piel correctamente.

Núcleo de espuma : propiedades y aplicaciones

Si bien la rigidez y la fuerza de cizallamiento son primordiales en la construcción de sándwich, existen otras propiedades que también son importantes. Por ejemplo la fuerza de compresión que se necesita para soportar cargas localizadas, tales como dejar caer un ancla en una embarcación del remolque o el golpe de una embarcación contra un pantalán.

Los gráficos de las figuras posteriores comparan diferentes materiales de núcleo de espuma para cizallamiento y resistencia a la compresión.

La espuma de **PVC** se basa en un termoplástico de poli cloruro de vinilo y adhesivo (por ejemplo, Divinycell, Klegecell, Airlite). Esta espuma proporciona mayor resistencia / rigidez en las dos situaciones estáticas y dinámicas, una buena estabilidad de temperatura de hasta 180°C, una buena resistencia a la fatiga, y una estructura de célula cerrada de baja absorción de resina. Uno de los problemas encontrados cuando se utiliza el PVC como adhesivo es que algunos no son compatibles con algunos epoxi, y si la espuma no se trata, algunas no dan la confianza suficiente. Los adhesivos de PVC se utilizan normalmente en las cubiertas, las superestructuras, el fondo y los costados del casco, mamparos y espejos de popa.

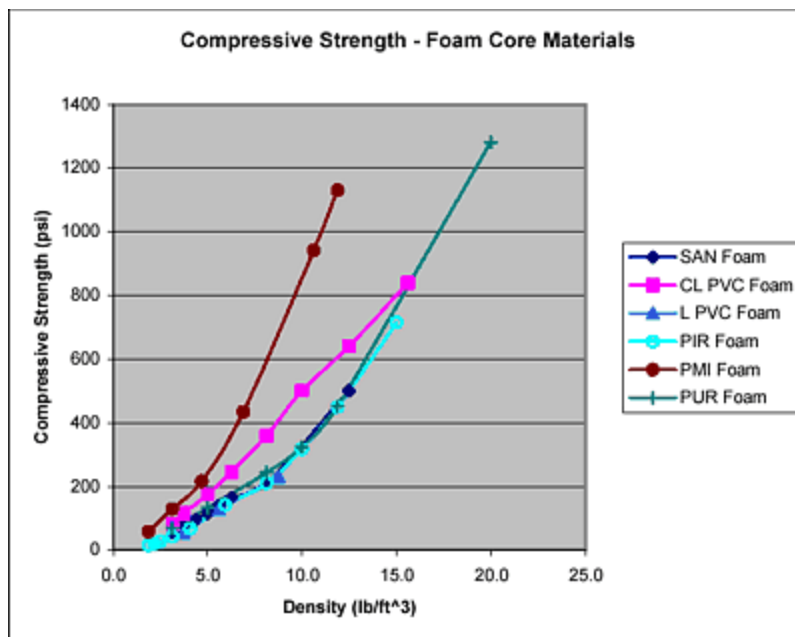


Figure 5

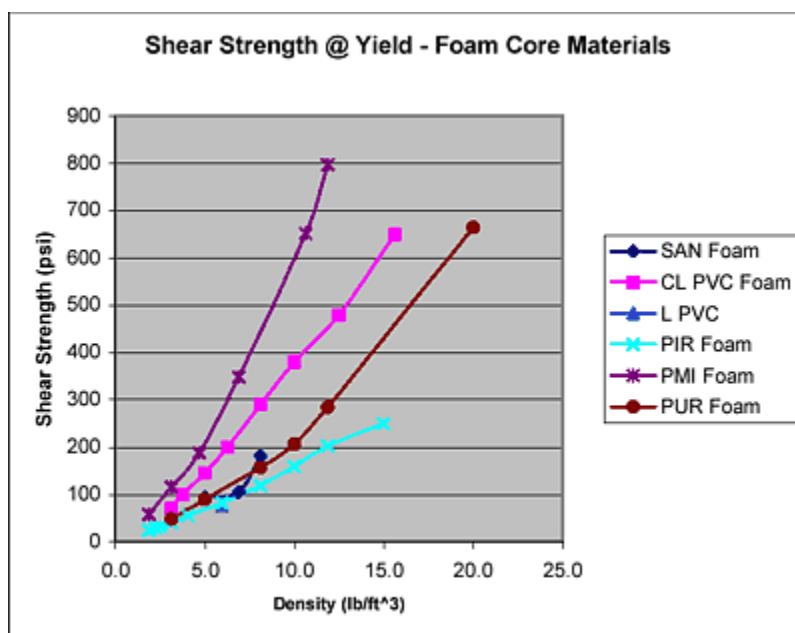


Figure 4

Las espumas **SAN de PVC y L** se basan en el termoplástico de estireno Acrylo Nitrilo (por ejemplo, Corecell) y sin adhesivo PVC (por ejemplo, Airex R63). Las razones típicas para el uso de estos materiales son: la alta tenacidad, buena resistencia al impacto / absorción de energía, buena resistencia a la fatiga, y una estructura de célula cerrada. Algunos inconvenientes de la utilización de estas espumas son: problemas de alta temperatura, y es susceptible al ataque de estireno (el de la resina de estireno puede filtrar a través de la espuma, dejando la resina y la espuma sin curar o degradados). Estas espumas se utilizan normalmente en las zonas donde es frecuente el alto impacto, como el fondo y los costados del casco.

El **poliuretano (PUR) y polyisocianuro (PIR)**, tienen propiedades físicas moderadas, y tienen una tendencia a empeorar con el tiempo. Debido a esto, estas espumas se utilizan normalmente para aplicaciones de ámbito acústico y paneles aislantes. Existen también otras versiones de estas espumas adaptados para usos específicos, tales como alta temperatura. Otros, como las espumas de PMI (por ejemplo, Rohacell) y (Airex R82) generalmente se utilizan en los aviones, debido a su costo relativamente alto.

La **madera de balsa y contrachapado** se han utilizado ampliamente en la construcción de barcos durante muchos años, ya que estos materiales tienen excelentes propiedades de compresión y de rigidez a un costo relativamente bajo. Los Núcleos de espuma pueden ser mucho más ligeros, resistente a los hongos, y no absorben el agua o cualquier otro de los fluidos encontrados en un entorno marino. También hay pruebas de que los núcleos de espuma tienen mejor resistencia a la fatiga que la madera de balsa.

Los laminados con núcleos de espuma pueden durar más tiempo y con un peso menor que los núcleos de madera laminados. La madera sigue siendo un material viable que se utilizará en las zonas donde las cargas de compresión son muy localizadas o están presentes a través de elementos (como el motor), donde la espuma de alta densidad puede ser demasiado cara.

Materiales como el nido de abeja Nomex (papel de aramida y resina fenólica) y son las mas utilizadas en el campo aeroespacial, debido a su gran fortaleza, la estabilidad a alta temperatura, y bajo peso. Aunque estas propiedades funcionan bien para aplicaciones aeroespaciales, en nido de abeja tiene algunos inconvenientes en un medio ambiente marino. Los paneles tienen mala resistencia a la fatiga y muy poca area para el adhesivado. La estructura de célula abierta de panales es susceptible a la infiltración de agua y degradación de los adhesivos. El Proceso de materiales de nido de abeja también requiere mucho mayor equipo de proceso y materiales, tales como altas temperaturas, autoclaves y epoxi reimpregnados. Las siguientes cifras comparan la cizalla y compresión de algunos núcleos de espuma con madera de balsa y varios nidos de abeja.

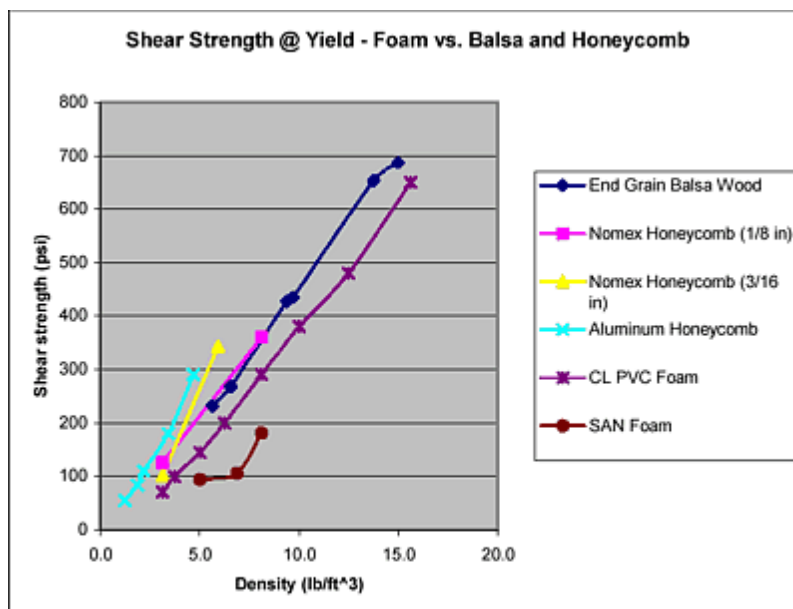


Figure 6

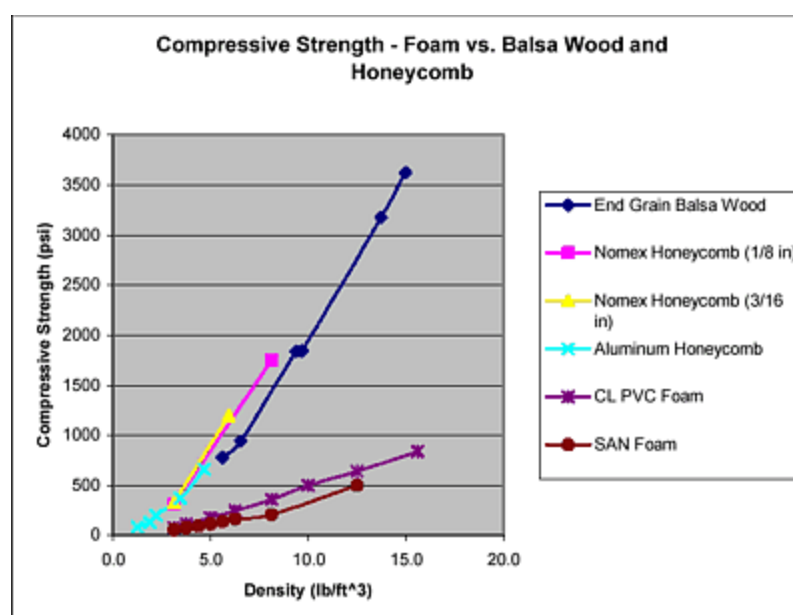


Figure 7



Procesado del núcleo de espuma

La mayoría de los núcleos de espuma son fácilmente mecanizados utilizando herramientas de trabajo de madera, como sierras de cinta, tornos, taladros, papel de lija, etc..... Antes de mecanizado de cualquier núcleo de espuma, se ha de consultar con el fabricante, ya que cada espuma química tiene sus propiedades únicas. Contornos especiales: Las espumas se presentan con contornos diferentes para cada aplicación. La forma de control más conocida es el patrón de cuadrícula de puntuación (ver Figura 8). La primera hoja de la espuma ligera de fibra de vidrio tiene un scrim adjunto a un lado y la espuma se corta en cuadrados 1" x 1" permitiendo la espuma para ajustarse a las curvas complejas.

Otro tipo de procesado se conoce simplemente como "corte" (corte doble, triple corte, etc (Ver Figura 9). La espuma se corta, de nuevo en 1"x 1" Esto le permite tener cierta flexibilidad, el corte se utiliza principalmente como canal de flujo de infusión de resina, o como los canales de evacuación de aire al utilizar laminado manual. Algunos proveedores también producen "ranuras principales" (ver Figura 10). Estas ranuras son generalmente 0,120 "de espesor y profundidad, y son utilizados como canales de flujo de infusión en el vacío con los procesos de capas de fibra muy gruesos. Otro proceso recientemente disponible de proveedores son los kits pre-pregs. En el caso de producción, la espuma es precortada según las especificaciones del cliente, eliminando así los residuos y la mano de obra.

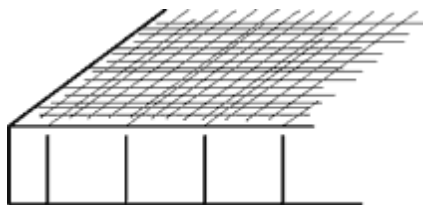


Figure 8

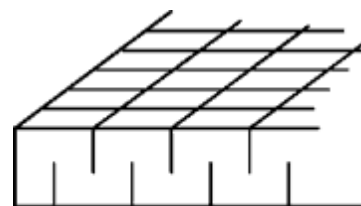


Figure 9

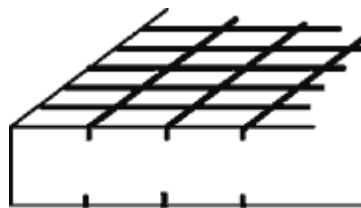


Figure 10

Cuando se utiliza en la fabricación de espuma de núcleos, hay algunas pautas estrictas que se deben seguir para conseguir una buena propiedad mecánica. La espuma de los materiales debe ser almacenada y preparada correctamente, o bien los adhesivos serán altamente ineficientes. En primer lugar, la espuma debe ser almacenada en un lugar limpio y seco. Todo el polvo o la humedad que puedan establecerse en el material puede producir un despegue después de la laminación. Si el polvo está presente en la superficie de espuma se ha de eliminar con aspiración, o en el peor de los casos con una boquilla de aire (con una fuente de aire seco). Nunca se deben utilizar disolventes para limpiar la superficie, ya que sólo se extiende el polvo alrededor de la superficie.

Un fuerte disolvente, como la acetona, también podría degradar la espuma en la superficie, dejando un núcleo débil. Con una superficie limpia correctamente, el resultado del adhesivado debe ser excelente.

Tratamiento con FRP:

Los núcleos de espuma se pueden utilizar con casi todas las formas de fibra de vidrio y compuestos de avanzada fabricación. Los tres principales procesos que utilizan sándwich en su construcción son, laminado manual, infusión, y preimpregnado, se puede producir todos con un resultado duradero si se ejecutan correctamente.

En el laminado manual es el método en el que más comprometido está el núcleo. Por razones estéticas, muchos fabricantes establecen una capa en la barrera de gel coat y dejan que se cure antes de que el núcleo sea instalado. Los adhesivos que se emplean en este proceso de fabricación pueden ser (CBA, ex. Divilette, Corebond, Baltekbond, etc) o una resina rica como (CSM). Una vez que el CSM está saturado con la resina, se debe asegurar el purgado de la espuma con laminado de resina para cubrir la superficie de células abiertas. Algunos de los PVC y SAN espumas requieren un “abrigo caliente” o muy catalizado (alrededor del 2% en peso) para reducir los efectos del estireno y que ataque a los adhesivos. El uso de la ACB en lugar de resina rica CSM tiene algunas ventajas como la reducción de peso y la reducción de exotermia.

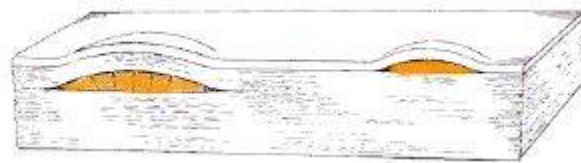
Otra manera consiste en utilizar un proceso de infusión de resina. En este proceso, todos los materiales de vidrio y el núcleo se establecen en el molde seco y una bolsa de vacío cerrada en todo el perímetro. Una vez que el vacío se realiza, la resina se introduce en la bolsa y avanza a través de la fibra y núcleo. Una manera de distribuirla a través del sandwich es utilizar los cortes y surcos del núcleo como canales de flujo. Las construcciones sándwich realizadas con este proceso tienen un alto ratio de fibra/resina.

Otro proceso de alta gama en el que núcleo de espuma se puede utilizar es preimpregnado / laminación en autoclave. La laminación de preimpregnado implica temperaturas más altas (> 200 °C) y presiones (> 15 psi). Con el fin de soportar las elevadas temperaturas y presiones, los núcleos de espuma adecuada deben ser los adecuados, tales como versiones Divinycell HT, Klegecell TR, y Airlite / Herex C71. Si bien las espumas pueden utilizarse en este proceso, hay algunas limitaciones. Una regla general es no usar la espuma a temperaturas de más de 250 °F y a presiones de más de 25 psi. Calor o cualquier otra causa de presión puede convertir la espuma en dimensionalmente inestable, y eventualmente disminuir en grosor y degradar.



También hay algunos problemas de compatibilidad con algunos tipos de epoxi preimpregnado y diversos tipos de espuma.

La mayor desventaja de los laminados con sándwich es la sensibilidad a la ósmosis. Todos los productos laminados en un medio ambiente marino permitirán pasar cantidades muy pequeñas de agua para a través de ellos en forma de vapor. De manera que este agua reacciona con cualquier componente hidrolizable dentro del laminado para formar diminutas células de solución concentrada.



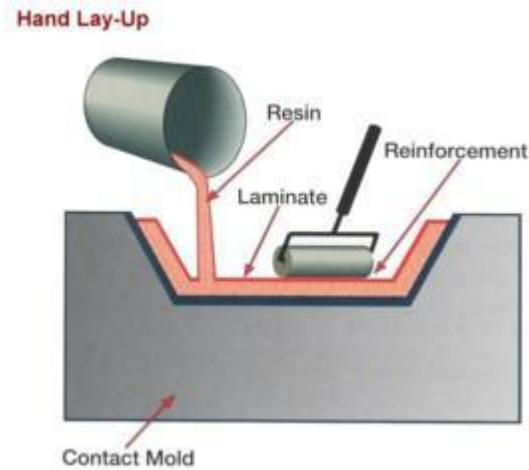
Para retrasar la aparición de la ósmosis, es necesario utilizar una resina que tenga una tasa baja de transmisión de agua y una elevada resistencia a su ataque. Una cadena de polímero epoxi es sustancialmente mejor que las de poliéster o las de vinilester.



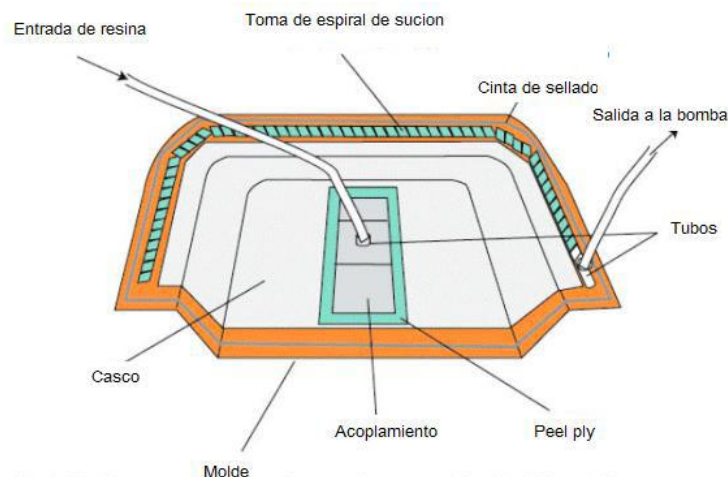
TIPOS DE PROCEDIMIENTO

Como último punto de esta parte, explicaremos las dos maneras de proceder sobre el molde para conseguir el producto.

El proceso utilizado tradicionalmente es el **laminado a mano**, este proceso se basa en aplicar capa a capa la fibra alternándola con una capa de resina para adherirlas. Este método emplea una gran cantidad de resina, lo que añade mucho peso al laminado. En cuanto a la parte económica este procedimiento, es mucho más barato al ser necesario tan solo aplicar el material con una brocha o rodillo.



La otra opción se trata del **laminado por infusión al vacío**, la cual se basa en colocar las telas sobre el molde y cubrirlo con un plástico estanco. Cuando se tiene la garantía de que el molde está totalmente sellado, se utiliza una bomba de succión con unas tomas que irán a un depósito de sobras por la resina que pueda ser sobrante, y se insertan unas entradas de resina

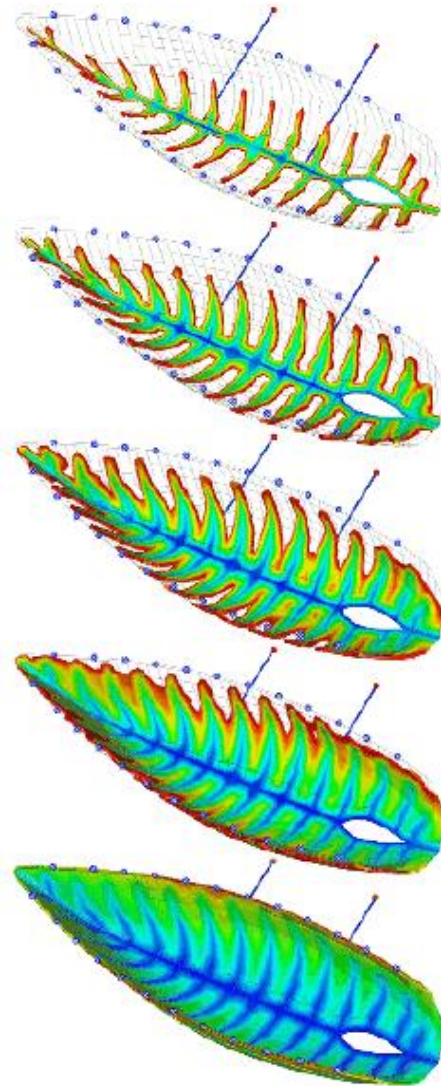


en diferentes puntos del laminado. Al accionar la bomba, la succión hace pasar la resina a través del laminado empleando mucha menos resina que el laminado convencional.

Este laminado requiere una mano de obra especializada, dado que es una técnica compleja la tanto la preparación de los puntos de succión e inyección como la preparación de las telas. La primera tela que se debe colocar ha de ser un MAT con laminado de forma manual sobre el gelcoat. Las siguientes capas han de ser superpuestas una encima de otra



utilizando un spray especial que consiga la adherencia necesaria entre ellas hasta que intervenga la resina. La instalación de las tomas una vez acabado el proceso del colocado de las telas es una decisión que requiere un gran conocimiento de este tipo de procedimientos. Para llevarlo a cabo tenemos dos opciones. Podemos basarnos en la experiencia en anteriores modelos, lo que nos reducirá el coste y el tiempo de trabajo, pero también recurrir a alguien que tenga dicha experiencia. Como segunda opción existen procedimientos de simulación por ordenador, los cuales no son demasiado complejos, pero tienen un importante coste de software.



Cálculo analítico de laminados de la estructura

Tipo de estructura

En los apartados anteriores hemos modelizado las superficies que compondrán el exterior del yate. Además de las láminas que hemos obtenido, la estructura tiene que tener unos refuerzos asociados para permitir aguantar las presiones a las que esté solicitada. Estos refuerzos los vamos a construir del tipo omega como se indica en la figura.

Para poder colocar estos refuerzos, hemos de conocer cuál es la disposición de plantas que se desea que tenga el buque para poder adaptar el tamaño y la posición.

En este punto del proyecto se debe realizar una reunión entre oficina y astillero para que ninguna de las dos partes tenga problemas en las siguientes fases. Los mamparos y anillos deben ir colocados de manera que separen camarotes o zonas. Esto implica que el astillero no tiene total libertad para diseñar la habitación y la oficina técnica no tiene total libertad para la colocación de la estructura.

Para esta eslora vamos a plantear una estructura transversal, dado que permite una mejor separación para la habitación y permite que al ser los refuerzos longitudinales de menor tamaño podamos ganar altura en los espacios bajo cubierta.

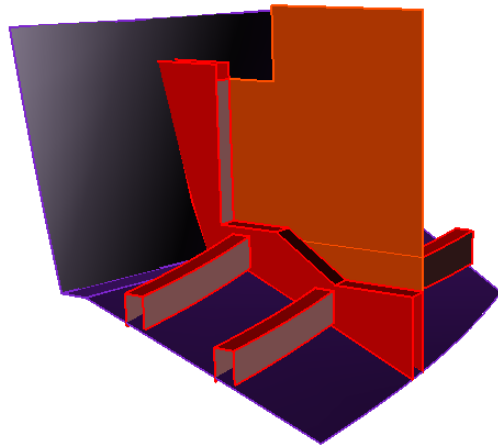
En cuanto a los refuerzos secundarios longitudinales, colocaremos dos a cada banda para poder fijar los polines de los motores principales en ellos, de manera que tendremos tres niveles planchas a cada banda.

Para todas las capas del laminado de la estructura, GL precisa incluir un factor multiplicador de seguridad de 4.

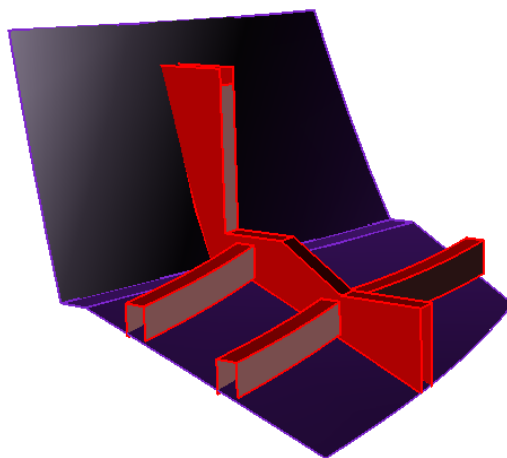
Disposición general

Hemos decidido una disposición general simple de manera que sea fácil identificar los puntos exactos donde hemos de poner los refuerzos estructurales. Es primordial tener continuidad estructural en todas las alturas del barco y que ninguna omega quede sin conectar con la del siguiente nivel superior o inferior. También se ha de intentar dar continuidad a los mamparos, de manera que sean coincidentes entre las cubiertas y evitar el fenómeno de 'warping', que tiende a alabear toda la estructura. En el dibujo los mamparos continuos entre cubiertas están marcados mediante una línea.

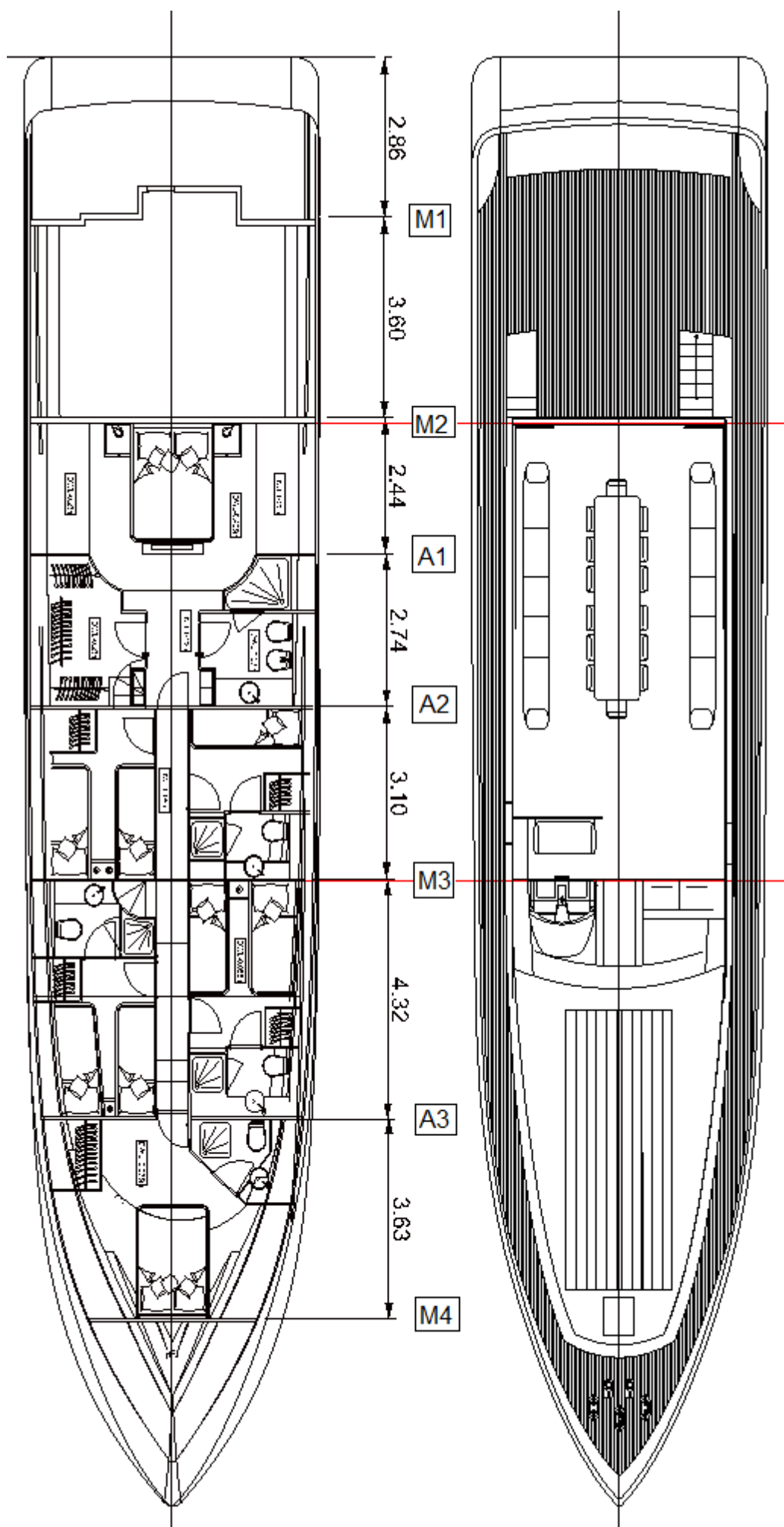
Marcaremos con la letra M el refuerzo que corresponda a un mamparo y con la letra A al refuerzo que corresponda a un anillo.



Mamparo de refuerzo



Anillo de refuerzo





Cálculo de las presiones de fondo

Para la estimación de la altura y laminado de los refuerzos y planchas hemos de establecer el laminado de manera que resista a las presiones y coeficientes de seguridad requeridos por una sociedad de clasificaciones.

Todas estas sociedades tienen unas normas y requisitos muy similares, pero en este caso nos hemos decidido por emplear Germanischer Lloyds por el fácil acceso a la reglamentación.

Entramos en el reglamento:

Rules & Guidelines 2011 → I-Ship technology → Part 3: Special Craft → Chapter 2 ≥ 24 meters → Section 2: Hull Structures → E. Motor and Sailing Yachts, 24 m ≤ L ≤ 48 m, Composite Structures.

La primera condición nos indica que nuestro Yate corresponde a “High speed marine vehicle” dado en la siguiente fórmula la velocidad para los datos de nuestra embarcación es 14,4 y la velocidad que alcanzará será superior.

$$v \geq 7,2 \cdot \sqrt[6]{\nabla} \quad [\text{kn}]$$

Esta condición nos remite al anexo A : **Design Loads for Yachts of High Speed Type**, donde la presión por impacto se define:

$$p_{sl} = 70 \cdot \frac{\Delta}{S_r} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot a_{CG}$$

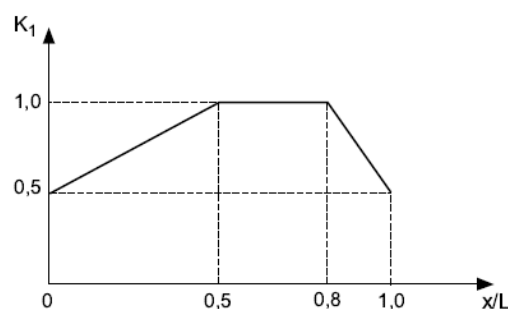
Donde:

p_{sl} = Presión en el fondo

Δ = Desplazamiento en Tonleadas

S_r = Area de referencia en $\text{m}^2 = 0,7 \cdot \frac{\Delta}{T}$

K_1 = Factor longitudinal de reparto de presiones donde x es el punto de la eslora L desde popa





K_2 = Factor del area de impacto

$$K_2 = 0,455 - 0,35 \cdot \frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7}$$

Donde: $u = 100 \cdot \frac{s}{S_r}$

Siendo s el área soportada por el refuerzo.

Este factor no puede ser inferior a :

$K_2 > 0,5$ para planchas $K_2 > 0,45$ para refuerzos primarios $K_2 > 0,35$ para refuerzos secundarios

K_3 = Factor de forma de la astilla muerta

$$K_3 = (70 - \alpha_d) / (70 - \alpha_{dCG})$$

Siendo:

α_d = Astilla muerta local

α_{dCG} Astilla muerta en el centro de gravedad

a_{CG} factor de aceleración vertical

$$a_{CG} = f_{oc} \cdot S_{oc} \cdot \frac{V}{\sqrt{L}}$$

Type of service	Passenger, Ferry, Cargo	Supply	Pilot, Patrol	Rescue
foc	0,666	1	1,333	1,666

Altura de ola:

- Open-sea service: $H_s \geq 4,0$ m • Restricted open-sea service: $2,5$ m $\leq H_s < 4,0$ m • Moderate environment service: $0,5$ m $< H_s < 2,5$ m • Smooth sea service: $H_s \leq 0,5$ m.



Sea area	Open sea	Restricted open sea	Moderate environment (2)	Smooth sea (3)
Soc	$C_f (1)$	0,30	0,23	0,14

Cálculo de la plancha resistente

Regla de las mezclas

Para producir la expresión matricial del material y por tanto las constantes elásticas de cualquier laminado, es necesario determinar E_1 , E_2 , ν_{12} (ó ν_{21}) y G_{12} para una lámina unidireccional. Se trata de homogeneizar el material a nivel microscópico de manera que se pueda tratar la lámina como un material homogéneo ortótropo. Esto se realiza mediante el estudio micromecánico de la lámina. El valor de las constantes elásticas depende de:

E_f : módulo de Young de la fibra

E_m : módulo de Young de la matriz

ν_f : cociente de Poisson de la fibra

ν_m : coeficiente de Poisson de la matriz

V_f : relación entre volumen de fibra y volumen total de la lámina

V_m : relación entre volumen de la matriz y volumen total de la lamina

Determinación del espesor :

$$e(\text{mm}) = \frac{\omega}{(1 - \mu) * \rho_f * \rho_m * 1000} \left[\frac{\rho_f}{W_f} - (\rho_f - \rho_m) \right]$$

Determinación de E_1

$$E_1 = (E_f - E_m)V_f + E_m$$

Determinación de ν_{12}

$$\nu_{12} = (\nu_f - \nu_m)V_f + \nu_m$$

Determinación de E_2

$$E_2 = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2} = \frac{E_f E_m}{(V_f E_m + V_m E_f)} = \frac{E_f E_m}{E_m V_f + E_f (1 - V_f)} \quad \text{ó} \quad \frac{1}{E_2} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m}$$

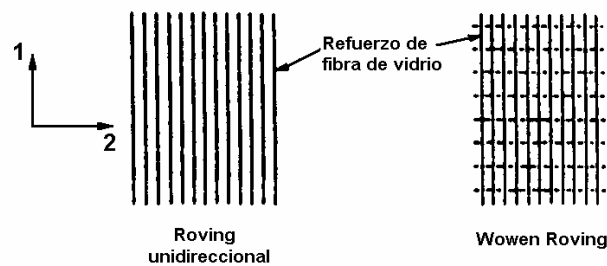
Determinación de G_{12}



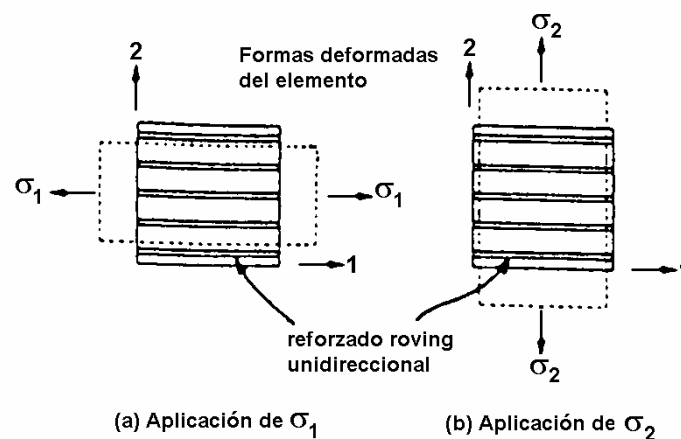
$$G_{12} = \frac{1}{\frac{V_f}{G_f} + \frac{V_m}{G_m}} = \frac{G_f G_m}{V_f G_m + V_m G_f} = \frac{G_f G_m}{V_f G_m + (1 - V_f) G_f}$$

Macromecánica de una lámina

Las fibras están orientadas en direcciones definidas y no de una manera aleatoria, por ejemplo en una dirección o en direcciones perpendiculares, o a $\pm 45^\circ$, figura.



Esta notación no debe confundirse con la que corresponde a las de tensiones principales. Cuando se aplica una tensión en ambas direcciones de manera independiente, se produce un alargamiento de las fibras en esa dirección y una contracción del material en la dirección perpendicular.



Si E_1 es el Módulo de Young del material en la dirección 1 y ν_{12} es el coeficiente de Poisson del material, se cumple que el alargamiento en la dirección principal es:

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_1}$$

y en la dirección perpendicular es:



$$\varepsilon_2 = -\nu_{12} \frac{\sigma_1}{E_1}$$

De forma similar, la aplicación de una tensión en la dirección 2 causa una deformación en esa dirección cuyo valor es:

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_2}$$

y en la dirección perpendicular 1:

$$\varepsilon_1 = -\nu_{21} \frac{\sigma_2}{E_2}$$

Si se aplican las tensiones de forma simultánea, y puesto que las deformaciones son pequeñas, se cumple que las deformaciones en las direcciones 1 y 2 valen simultáneamente:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{\sigma_1}{E_1} - \nu_{21} \frac{\sigma_2}{E_2} \\ \varepsilon_2 &= \frac{\sigma_2}{E_2} - \nu_{12} \frac{\sigma_1}{E_1}\end{aligned}$$

y puesto en forma matricial queda:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{21}/E_2 \\ -\nu_{12}/E_1 & 1/E_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{bmatrix}$$

La matriz es simétrica, por lo que se cumple que:

$$\frac{\nu_{12}}{E_1} = \frac{\nu_{21}}{E_2}$$

La matriz del material se puede obtener invirtiendo la anterior:

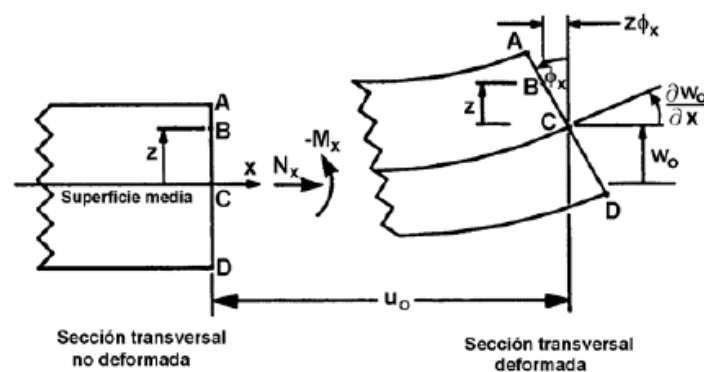


$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & \frac{\nu_{21}E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \\ \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

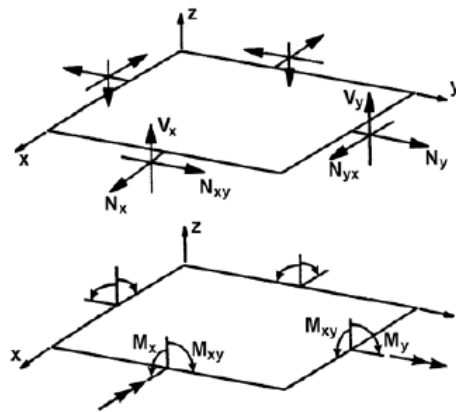
Macromecánica del laminado

Una vez estudiado el comportamiento de una lámina y su caracterización micromecánica tal y como se verá posteriormente, se dispone de los valores necesarios para realizar el análisis completo del comportamiento macromecánico del laminado. Se pasará de un material laminar no homogéneo, en el sentido de que cada capa puede tener distintas propiedades, a un material equivalente homogéneo y ortótropo. El análisis de laminados se realiza a partir del modelo de la teoría clásica de placas laminadas, cuyas dos hipótesis son:

- Una sección recta y perpendicular a la superficie media permanece recta después de que la placa se deforme. Esta suposición se basa en observaciones experimentales, e implica que las deformaciones unitarias tangenciales son constantes a través del espesor. Esta hipótesis es válida para laminados finos y es una buena aproximación en la mayor parte de los casos, excepto cuando el laminado es grueso y las capas tienen muy diferente rigidez a cortante.
- La longitud de la línea AD permanece constante. Esto implica que la deformación unitaria normal es 0. Esta hipótesis se basa también en observaciones experimentales. Es una buena hipótesis que se satisface en la mayor parte de los casos, excepto para laminados muy gruesos.



Se considera el sistema de coordenadas, donde la superficie media está situada a la mitad del espesor de la plancha.



Usando la primera hipótesis anterior, los desplazamientos en cada punto a través del espesor son:

$$u(x, y, z) = u_0(x, y) - z\phi_x(x, y)$$
$$v(x, y, z) = v_0(x, y) - z\phi_y(x, y)$$

donde $u(x, y, z)$ y $v(x, y, z)$ son los desplazamientos de cada punto (x, y, z) a lo largo de la direcciones "x" e "y" respectivamente. Las funciones u_0 , v_0 , w_0 , representan los desplazamientos de cada punto (x, y) de la superficie media de la placa, Las funciones $\Phi_x(x, y)$ y $\Phi_y(x, y)$ son los giros en sentido antihorario de la normal a la superficie media en cada punto de la misma, línea AD.

Utilizando la segunda hipótesis anterior, y sabiendo que los valores de Φ_x y Φ_y son muy pequeños, la deformación transversal es la misma para cada punto a lo largo del espesor de la plancha:

$$w(x, y, z) = w_0(x, y)$$

Las variables independientes en las expresiones anteriores son, $u_0(x, y)$, $v_0(x, y)$, $w_0(x, y)$, $\Phi_x(x, y)$ y $\Phi_y(x, y)$. El hecho de que todas sean independientes de la coordenada z es la principal característica de la teoría clásica de placas, en contraste con el problema elástico tridimensional, en donde las variables u , v y w dependen de las tres coordenadas x , y , z .

Las deformaciones unitarias en cada punto de la placa son función de los desplazamientos:



$$\varepsilon_x(x, y, z) = \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\varepsilon_y(x, y, z) = \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\gamma_{xy}(x, y, z) = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$\gamma_{yz}(x, y, z) = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}$$

$$\gamma_{xz}(x, y, z) = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}$$

que se pueden expresar en función de los valores de u , v y w anteriores, como:

$$\varepsilon_x(x, y, z) = \frac{\partial u_0}{\partial x} - z \frac{\partial \phi_x}{\partial x}$$

$$\varepsilon_y(x, y, z) = \frac{\partial v_0}{\partial y} - z \frac{\partial \phi_y}{\partial y}$$

$$\gamma_{xy}(x, y, z) = \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} - z \left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right)$$

$$\gamma_{yz}(x, y, z) = -\phi_y + \frac{\partial w_0}{\partial y}$$

$$\gamma_{xz}(x, y, z) = -\phi_x + \frac{\partial w_0}{\partial x}$$

Como se observa, γ_{yz} y γ_{xz} son independientes de la coordenada “ z ”, es decir, son constantes a través del espesor, debido a la primera hipótesis. Las tres primeras ecuaciones se pueden expresar matricialmente como:



$$\varepsilon = \varepsilon_m + Z \varepsilon_f \Rightarrow \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} + Z \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{bmatrix}$$

donde ε_x^0 , ε_y^0 , γ_{xy}^0 son las deformaciones unitarias de la superficie media. Con esta expresión, las deformaciones en cualquier punto de la placa son conocidas una vez determinadas la deformación y la curvatura de la superficie media. Conocidas las deformaciones en un punto de la placa, es factible conocer las tensiones. Para ello, sólo hay que identificar la capa en la que se encuentra el punto y aplicar la relación matricial vista en micromecánica de una lámina:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{13} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{23} \\ \bar{Q}_{13} & \bar{Q}_{23} & \bar{Q}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{13} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{23} \\ \bar{Q}_{13} & \bar{Q}_{23} & \bar{Q}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} + Z \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{13} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{23} \\ \bar{Q}_{13} & \bar{Q}_{23} & \bar{Q}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{bmatrix}$$

Una vez obtenidas las tensiones en los ejes globales, como se ha visto es sencillo convertirlas a ejes locales de cada lámina. En estos ejes locales es posible aplicar los criterios de rotura.

Los valores de ε_x^0 , ε_y^0 , γ_{xy}^0 , de las curvaturas de flexión, y de torsión, se definen como:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x^0(x, y) &= \frac{\partial u_0}{\partial x} & \kappa_x(x, y) &= -\frac{\partial \phi_x}{\partial x} \\ \varepsilon_y^0(x, y) &= \frac{\partial v_0}{\partial y} & \kappa_y(x, y) &= -\frac{\partial \phi_y}{\partial y} \\ \gamma_{xy}^0(x, y) &= \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} & \kappa_{xy}(x, y) &= -\left(\frac{\partial \phi_x}{\partial y} + \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \right) \end{aligned}$$

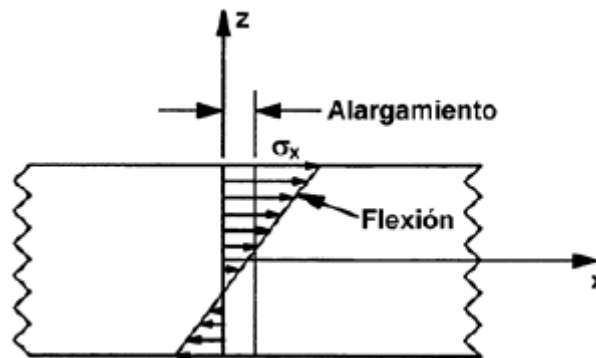
Las deformaciones unitarias interlaminares por cortante son la cuarta y quinta ecuaciones de partida anteriores:

$$\begin{aligned} \gamma_{yz}(x, y, z) &= -\phi_y + \frac{\partial w_0}{\partial y} \\ \gamma_{xz}(x, y, z) &= -\phi_x + \frac{\partial w_0}{\partial x} \end{aligned}$$

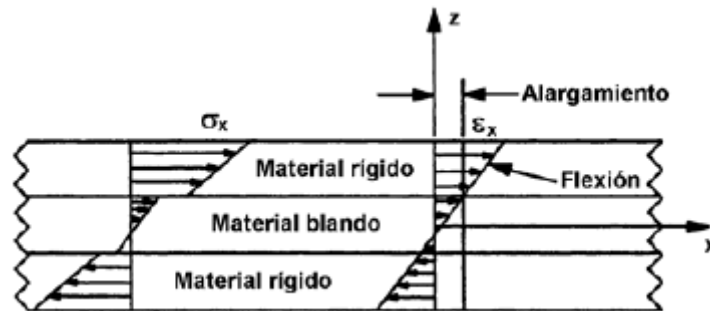


Por conveniencia se separan las deformaciones unitarias en deformaciones en el plano, y curvaturas), de manera que si sólo actúan fuerzas en el plano, sólo se inducen las deformaciones en el mismo y no es necesario considerar las curvaturas. Si sólo se aplican momentos o cargas transversales, sólo es necesario calcular las curvaturas.

La distribución lineal de tensiones en una capa del laminado, figura 9, es causada por la flexión y por tanto por la curvatura, y el término constante es causado por el alargamiento. La distribución de tensiones es lineal a través del espesor porque las deformaciones unitarias son lineales a través del mismo, y la ecuación constitutiva (rigidez) es constante a través del espesor de cada capa.



Mientras las deformaciones unitarias permanecen lineales para toda la placa laminada, las tensiones son lineales por capas, figura 10, porque las rigideces son distintas en cada una de ellas, ya que lo normal es que el laminado esté compuesto por capas de características distintas.



Si el espesor de la placa es mucho menor que las otras dos dimensiones de la misma, las deformaciones por cortante τ_{xz} y τ_{yz} se pueden despreciar, y los giros de la línea normal AD de la figura 7, son iguales a las pendientes de la superficie media:

$$\phi_x = \frac{\partial w_0}{\partial x}$$

$$\phi_y = \frac{\partial w_0}{\partial y}$$

Sustituyendo en las expresiones de las curvaturas, quedan:



$$\kappa_x(x, y) = -\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2}$$

$$\kappa_y(x, y) = -\frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2}$$

$$\kappa_{xy}(x, y) = -2\frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y}$$

Estas curvaturas, junto con las deformaciones unitarias $(\epsilon_x^0, \epsilon_y^0, \gamma_{xy}^0)$ constituyen la base de la teoría clásica de placas, es decir, supone que τ_{xz} y τ_{yz} son nulas. Cuando se tiene en cuenta sus valores, la teoría correspondiente se denomina teoría de deformación por cortante de primer orden. La teoría clásica da buenos resultados para placas isotrópicas (acero, aluminio), porque estos materiales son muy rígidos a cortante $G \approx E/2.5$, por lo que la deformación por cortante, si no es cero, es muy pequeña. Sin embargo, los materiales compuestos tienen bajo módulo a cortante, $G < E/10$, y requieren tener en cuenta la deformación transversal por cortante.

Para realizar el análisis completo del laminado hay que obtener estas

deformaciones, y para ello, hay que conocer la relación entre las deformaciones y las fuerzas y momentos aplicados, que son las variables de entrada conocidas. Es necesario integrar las tensiones a través del espesor para obtener sus resultantes. Al realizar esto, se consigue pasar de nuevo de un material laminar a un material homogéneo.

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \int_{-t/2}^{t/2} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} dz$$

$$\begin{bmatrix} V_y \\ V_x \end{bmatrix} = \int_{-t/2}^{t/2} \begin{bmatrix} \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} \end{bmatrix} dz$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \int_{-t/2}^{t/2} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} z dz$$

donde N_x , N_y y N_{xy} son las fuerzas axiales y cortante en el plano por unidad de longitud a



lo largo del borde de la placa, V_x y V_y son las fuerzas cortantes por unidad de longitud y

M_x , M_y y M_{xy} son los momentos por unidad de longitud, según se ve en la figura 8.

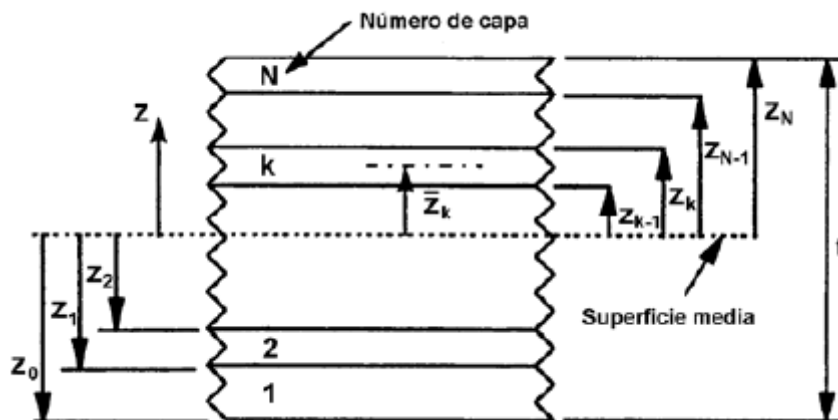
Las fuerzas y momentos resultantes se calculan realizando la integración de forma discontinua a lo ancho de N capas, ya que las tensiones en cada capa son lineales, pero no son continuas de una capa a otra:

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}^k dz$$

$$\begin{bmatrix} V_y \\ V_x \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \begin{bmatrix} \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} \end{bmatrix}^k dz$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}^k z dz$$

donde z_k es la coordenada de la superficie exterior de la capa k -ésima.



Sustituyendo las tensiones por su relación con las deformaciones, queda:



$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} dz = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{13} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{23} \\ \bar{Q}_{13} & \bar{Q}_{23} & \bar{Q}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} dz + \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} z \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{13} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{23} \\ \bar{Q}_{13} & \bar{Q}_{23} & \bar{Q}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{bmatrix} dz$$

Se realiza de forma análoga para las fuerzas cortantes y momentos flectores. Al ser la matriz Q constante para cada capa y ser las deformaciones y curvaturas de la superficie media independientes de la coordenada “ z ”, es posible realizar una operación de sumatorio sobre sus componentes, mientras que sólo se realiza la integración sobre el espesor de cada capa.

En forma matricial extensa y compacta se puede expresar:

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ A_{12} & A_{22} & A_{23} & B_{12} & B_{22} & B_{23} \\ A_{13} & A_{23} & A_{33} & B_{13} & B_{23} & B_{33} \\ B_{11} & B_{12} & B_{13} & D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} & D_{12} & D_{22} & D_{23} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} & D_{13} & D_{23} & D_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_y \\ V_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{12} & H_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} N \\ M \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & 0 \\ B & D & 0 \\ 0 & 0 & H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_m \\ \varepsilon_f \\ \varepsilon_c \end{bmatrix}$$

Las matrices $[A]$, $[B]$, $[D]$ y $[H]$ se conocen respectivamente como matriz

extensional, matriz de acoplamiento, matriz de flexión y matriz de rigidez a cortante. Son simétricas, y los coeficientes se obtienen realizando la integración de la forma siguiente:



$$\begin{aligned}
 [N] &= \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} [\sigma] dz = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \bar{Q}[\varepsilon] dz = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \bar{Q}(\varepsilon_m + z\varepsilon_f) dz = \\
 &= \sum_{k=1}^N \bar{Q}(k) \left[\varepsilon_m (z_k - z_{k-1}) + \frac{1}{2} \varepsilon_f (z_k^2 - z_{k-1}^2) \right]
 \end{aligned}$$

$$[N] = [A \quad B] \begin{bmatrix} \varepsilon_m \\ \varepsilon_f \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}]_k (z_k - z_{k-1}) = \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}]_k t_k \quad ; \quad i, j = 1, 2, 3$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}]_k (z_k^2 - z_{k-1}^2) = \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}]_k t_k \bar{z}_k \quad ; \quad i, j = 1, 2, 3$$

$$\begin{aligned}
 [M] &= \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} [\sigma] z dz = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \bar{Q}[\varepsilon] z dz = \sum_{k=1}^N \int_{z_{k-1}}^{z_k} \bar{Q}(\varepsilon_m z + z^2 \varepsilon_f) dz = \\
 &= \sum_{k=1}^N \bar{Q}(k) \left[\frac{1}{2} \varepsilon_m (z_k^2 - z_{k-1}^2) + \frac{1}{3} \varepsilon_f (z_k^3 - z_{k-1}^3) \right]
 \end{aligned}$$

$$[M] = [B \quad D] \begin{bmatrix} \varepsilon_m \\ \varepsilon_f \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}]_k (z_k^2 - z_{k-1}^2) = \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}]_k t_k \bar{z}_k \quad ; \quad i, j = 1, 2, 3$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}]_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}]_k \left(t_k \bar{z}_k^2 + \frac{t_k^3}{12} \right) \quad ; \quad i, j = 1, 2, 3$$

De forma similar se obtienen los coeficientes de la matriz [H]:



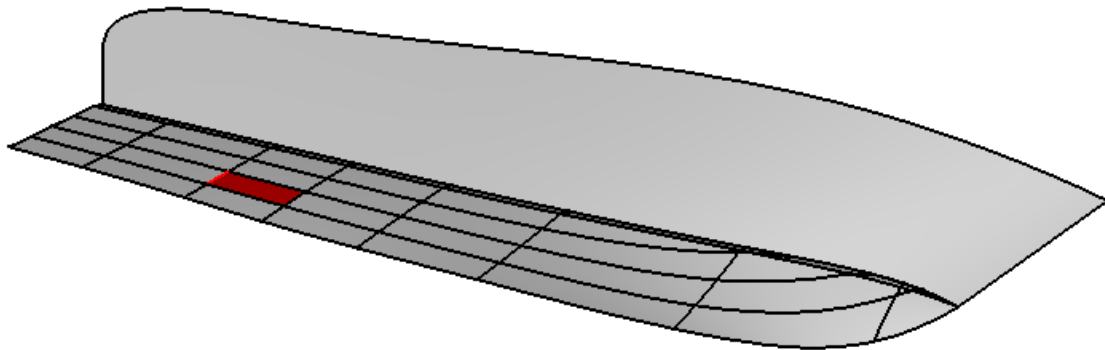
$$H_{ij} = \frac{5}{4} \sum_{k=1}^N [\bar{Q}_{ij}^*]_k \left[t_k - \frac{4}{t^2} \left(t_k \bar{z}_k^2 + \frac{t_k^3}{12} \right) \right] \quad ; \quad i, j = 1, 2$$

donde z_k es la coordenada de la superficie media de la lámina k . Una vez obtenidos los coeficientes de estas matrices, se invierte la matriz global para obtener el vector de deformaciones, que permite obtener las tensiones en cada capa.

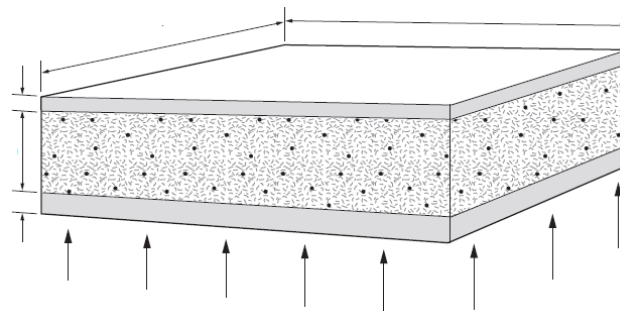
$$\begin{bmatrix} \varepsilon_m \\ \varepsilon_f \\ \varepsilon_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & 0 \\ B & D & 0 \\ 0 & 0 & H \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} N \\ M \\ V \end{bmatrix}$$

Ejemplo de cálculo detallado de una plancha

Como ejemplo, vamos a realizar el proceso de cálculo de una de las planchas. En este caso, será la que se encuentra entre el M2 y el A1.



Cálculo de presiones de la plancha



Para esto, hemos de calcular:



$$p_{sl} = 70 \cdot \frac{\Delta}{S_r} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot a_{CG}$$

Donde :

$$\Delta = 65 \text{ (toneladas)}$$

$$S_r = 0.7 \cdot \frac{65}{0.977}$$

$$K_1 = 0.5 + 8.9 \cdot \frac{0.5}{13} = 0.842$$

$$K_2 = 0.455 - 0.35 \cdot \frac{u^{0.75} - 1.7}{u^{0.75} + 1.7} = 0.349 < 0.5$$

$$u = 100 \cdot \frac{0.6 \cdot 2.44}{50.15} = 4.636$$

$$K_3 = \frac{70 - 14}{70 - 14} = 1$$

$$a_{CG} = 0.666 \cdot 0.32 \cdot \frac{30}{\sqrt{26}} = 1.253$$

$$p_{sl} = 70 \cdot \frac{65}{50.15} \cdot 0.842 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 1.253 = 51.6 \frac{kN}{m^2}$$

Cálculo de la plancha resistente

Para el laminado del casco vamos a emplear construcción de sándwich de CORECELL con MAT en los extremos. El mat en el extremo se coloca para que no queden marcas de ROVING plasmadas en la superficie de gel-coat. El material para las láminas siguientes serán cuadriaxiales de TWARON, por ser el material mas empleado hoy en dia en la construcción de yates. Tiene un coste superior a la fibra de vidrio convencional, pero la reducción en el peso de la estructura y sus consecuentes ventajas lo convierten en un requisito en la construcción de recreo. El carbono sería una opción a barajar, pero el coste que supondría la construcción de todo el casco de carbono lo hace inviable. Dejaremos este material para algunos puntos concretos como pueden ser las partes superiores de los refuerzos.

Para el cálculo de la plancha emplearemos el apartado de cálculo directo. Para la simplificación del mismo, haremos una hoja de cálculo y la explicaremos paso a paso.

Plancha A1 – M3

capa	PESO	% fib.	Burb.	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS-UTS	E t	PESOt	Z1s	Z1i	C-S superior	C-S inferior
					0	0					0			
CSM 450	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	9596	1500	-16,27	-15,16	- 2,91	-3,124
TIH 450 -45	150	0,5	0,03	1,65	0,22	1,22	10754	160	2394	300	-15,16	-14,94	- 3,36	-3,413
TIH 450 -90	150	0,5	0,03	1,65	0,22	1,44	37843	411	8423	300	-14,94	-14,72	- 2,49	-2,529
TIH 450 45	150	0,5	0,03	1,65	0,22	1,66	10754	160	2394	300	-14,72	-14,50	- 3,46	-3,518
mat 150	150	0,3	0,05	2,57	0,37	1,96	8681	120	3199	500	-14,50	-14,13	- 3,27	-3,353
QIH 750 -45	150	0,5	0,03	1,65	0,22	2,25	10754	160	2394	300	-14,13	-13,91	- 3,61	-3,667
QIH 750 -90	150	0,5	0,03	1,65	0,22	2,48	37843	411	8423	300	-13,91	-13,68	- 2,68	-2,720
QIH 750 45	150	0,5	0,03	1,65	0,22	2,70	10754	160	2394	300	-13,68	-13,46	- 3,73	-3,788
QIH 750 0	150	0,5	0,03	2,57	0,19	2,90	9987	54	1888	300	-13,46	-13,27	- 1,38	-1,396
mat 150	150	0,3	0,05	2,57	0,37	3,18	8681	120	3199	500	-13,27	-12,90	- 3,57	-3,672
CORECELL°				0,117	30,00	18,37	83	1,40	2490	3495	-12,90	17,10	- 4,48	3,381
mat 150	150	0,3	0,05	2,57	0,37	33,55	8681	120	3199	500	17,10	17,47	2,77	2,713
QIH 750 0	150	0,5	0,03	1,65	0,19	33,83	9987	45	1888	300	17,47	17,65	0,88	0,875
QIH 750 -45	150	0,5	0,03	1,65	0,22	34,04	10754	183	2394	300	17,65	17,88	3,30	3,262
QIH 750 -90	150	0,5	0,03	1,65	0,22	34,26	37843	931	8423	300	17,88	18,10	4,72	4,658
QIH 750 45	150	0,5	0,03	1,65	0,22	34,48	10754	183	2394	300	18,10	18,32	3,22	3,183
mat 150	150	0,3	0,05	2,57	0,37	34,78	8681	120	3199	500	18,32	18,69	2,59	2,535
TIH 450 -45	150	0,5	0,03	1,65	0,22	35,07	10754	183	2394	300	18,69	18,91	3,12	3,084
TIH 450 -90	150	0,5	0,03	1,65	0,22	35,29	37843	931	8423	300	18,91	19,14	4,46	4,406
TIH 450 45	150	0,5	0,03	1,65	0,22	35,52	10754	183	2394	300	19,14	19,36	3,05	3,013
TOTALES	3150				35,63				81499	11195				

Distancia de la base al eje neutro = 16.27 mm

Distancia del eje neutro al extremo superior = 19.36 mm

Young del laminado = 14038

EI = 212192078

En cuanto a la flecha:

0.42 mm < 6mm

Explicaremos ahora columna por columna:

Capas: en esta columna se nombra la capa que corresponde del laminado, que incluye información del material, cantidad y dirección de la misma.

Peso: se trata del peso por metro cuadrado de fibra que contiene cada capa

%fib : Se trata del porcentaje de de la capa que está compuesto por fibra. De este valor podemos obtener el porcentaje de resina con (1-% fib).Empleamos 0,7 para el caso de infusión.

Burb: Es la cantidad de voids que retiene el laminado durante el proceso. Está definido por el método de laminación seleccionado. En el caso de infusión se establece 0,01.

Dens: Densidad del material que se emplea en la capa

Esp: espesor de la capa que indica su dimensión vertical una vez laminada. Este dato se obtiene de los anteriores mediante la fórmula:

Z capa: coordenada z del punto medio de la capa



$$\sum_{n=i}^{n=0} e_{n-1} + \frac{e_i}{2}$$

E1 : NMódulo de elasticidad de la capa correspondiente

UCS-UTS : Tensión última de rotura

Et : Modulo de elasticidad total

$$ESP \cdot E1$$

Pesot: Peso de la capa ya laminada que incluye la fibra y la resina.

$$\frac{\%fib}{Peso}$$

Z1s y Z1y : distancia del punto superior y del punto inferior de cada capa al eje neutro

$$\sum_{n=i}^{n=0} e_n$$

C-S superior y C-S inferior : coeficiente de seguridad de rotura en los bordes superior en inferior de cada capa.

$$CS = \frac{UTS \cdot 4 \cdot EI}{M \cdot Et \cdot z}$$

4 =Factor de seguridad

M = momento flector empotrado $\frac{1}{12} \cdot P \cdot l^2$

EI: Rigidez total del laminado

$$EI = ((\sum_{i=0}^n (E1 \cdot t \cdot z) + \sum_{i=0}^n \frac{E \cdot t^3}{12})) - Et \cdot z_{eje}^2) \cdot 10$$

En cuanto a la flecha, la máxima viene determinada por el 1% del lado mas corto de la plancha.

$$0,01 \cdot 0.6 = 6 \text{ milímetros}$$

La flecha del panel sometido a la presión dada es

$$\frac{P \cdot l^4}{384 \cdot EI}$$

En el procedimiento de laminado añadimos capas, de manera que todos los cs sean superiores a 1. Cuando hayamos conseguido este objetivo, tendremos un laminado válido para las sociedades de clasificación.

Como ejemplo hemos puesto un laminado no apto, de manera que tiene una lámina que no resiste las condiciones. Para completar el laminado deberíamos añadir más capas de material. Ahora calcularemos todas las planchas de fondo de manera correcta.

Cálculo de las planchas de fondo

Ahora calcularemos el laminado mínimo que necesita cada una de las planchas. En todas emplearemos 300+150 de MAT que serán laminados manualment y un sándwich de 30 milímetros, ya que los tamaños superiores son difíciles de amoldar a las formas

M0 –M1 Presión= 38,3 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-14,35	-13,24	-3,95	-4,284
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-13,24	-13,09	-4,51	-4,565
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-13,09	-12,94	-5,34	-5,398
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-12,94	-12,79	-5,40	-5,462
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-12,79	-12,64	-3,37	-3,415
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,79	37843	551	286	-12,64	-12,48	-4,73	-4,787
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,94	10754	183	286	-12,48	-12,33	-5,59	-5,663
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,09	10754	183	286	-12,33	-12,18	-5,66	-5,734
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,24	9987	105	286	-12,18	-12,03	-3,54	-3,587
CORECELL A600				0,117	30,00	17,32	83	1,40	3495	-12,03	17,97	-5,76	3,852
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,39	9987	58	286	17,97	18,12	1,33	1,315
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,55	10754	183	286	18,12	18,27	3,85	3,822
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,70	10754	183	286	18,27	18,43	3,82	3,791
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,85	37843	931	286	18,43	18,58	5,48	5,435
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,00	9987	58	286	18,58	18,73	1,28	1,273
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,15	10754	183	286	18,73	18,88	3,73	3,699
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,30	10754	183	286	18,88	19,03	3,70	3,670
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,46	37843	931	286	19,03	19,18	5,31	5,263
TOTALES	3650				33,53				9566				

M1-M2 Presión = 47 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS-UTS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,95	-16,84	-1,27	-1,355
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-16,84	-16,69	-1,43	-1,441
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-16,69	-16,54	-1,68	-1,699
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-16,54	-16,39	-1,70	-1,715
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-16,39	-16,24	-1,06	-1,069
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,79	37843	551	286	-16,24	-16,09	-1,48	-1,495
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,94	10754	183	286	-16,09	-15,93	-1,75	-1,764
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,09	10754	183	286	-15,93	-15,78	-1,76	-1,781
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,24	9987	105	286	-15,78	-15,63	-1,10	-1,111
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,39	37843	551	286	-15,63	-15,48	-1,54	-1,553
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,55	10754	183	286	-15,48	-15,33	-1,82	-1,834
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,70	10754	183	286	-15,33	-15,18	-1,83	-1,852
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,85	9987	105	286	-15,18	-15,02	-1,14	-1,156
CORECELL A600				0,12	30,00	17,93	83	1,40	3495	-15,02	14,98	-1,85	1,860
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,00	9987	58	286	14,98	15,13	0,64	0,634
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,15	10754	183	286	15,13	15,28	1,86	1,839
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,30	10754	183	286	15,28	15,43	1,84	1,821
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,46	37843	931	286	15,43	15,58	2,63	2,608
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,61	9987	58	286	15,58	15,73	0,62	0,610
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,76	10754	183	286	15,73	15,89	1,79	1,769
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,91	10754	183	286	15,89	16,04	1,77	1,752
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,06	37843	931	286	16,04	16,19	2,53	2,510
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,21	9987	58	286	16,19	16,34	0,59	0,587
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,37	10754	183	286	16,34	16,49	1,72	1,704
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,52	10754	183	286	16,49	16,64	1,70	1,689
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,67	37843	931	286	16,64	16,80	4,00	2,419
TOTALES	5250				34,75				11852				

M2-A1 Presión =51,6 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,95	-16,84	-2,89	-3,083
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-16,84	-16,69	-3,25	-3,277
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-16,69	-16,54	-3,83	-3,865
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-16,54	-16,39	-3,86	-3,901
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-16,39	-16,24	-2,41	-2,432
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,79	37843	551	286	-16,24	-16,09	-3,37	-3,400
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,94	10754	183	286	-16,09	-15,93	-3,97	-4,012
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,09	10754	183	286	-15,93	-15,78	-4,01	-4,051
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,24	9987	105	286	-15,78	-15,63	-2,50	-2,527
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,39	37843	551	286	-15,63	-15,48	-3,50	-3,534
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,55	10754	183	286	-15,48	-15,33	-4,13	-4,171
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,70	10754	183	286	-15,33	-15,18	-4,17	-4,213
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,85	9987	105	286	-15,18	-15,02	-2,60	-2,629
CORECELL A600				0,12	30,00	17,93	83	1,40	3495	-15,02	14,98	-4,22	4,232
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,00	9987	58	286	14,98	15,13	1,46	1,442
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,15	10754	183	286	15,13	15,28	4,23	4,184
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,30	10754	183	286	15,28	15,43	4,18	4,143
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,46	37843	931	286	15,43	15,58	5,99	5,931
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,61	9987	58	286	15,58	15,73	1,40	1,387
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,76	10754	183	286	15,73	15,89	4,06	4,024
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,91	10754	183	286	15,89	16,04	4,02	3,986
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,06	37843	931	286	16,04	16,19	5,76	5,709
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,21	9987	58	286	16,19	16,34	1,35	1,335
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,37	10754	183	286	16,34	16,49	3,91	3,876
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,52	10754	183	286	16,49	16,64	3,88	3,841
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,67	37843	931	286	16,64	16,80	4,00	5,503
TOTALES	5250				34,75				####				

A1-A2 Presión = 62.8 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	- 17,95	-16,84	-2,44	-2,597
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	- 16,84	-16,69	-2,74	-2,760
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	- 16,69	-16,54	-3,23	-3,255
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	- 16,54	-16,39	-3,26	-3,286
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	- 16,39	-16,24	-2,03	-2,049
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,79	37843	551	286	- 16,24	-16,09	-2,84	-2,864
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,94	10754	183	286	- 16,09	-15,93	-3,35	-3,379
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,09	10754	183	286	- 15,93	-15,78	-3,38	-3,412
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,24	9987	105	286	- 15,78	-15,63	-2,11	-2,128
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,39	37843	551	286	- 15,63	-15,48	-2,95	-2,976
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,55	10754	183	286	- 15,48	-15,33	-3,48	-3,513
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,70	10754	183	286	- 15,33	-15,18	-3,51	-3,548
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,85	9987	105	286	- 15,18	-15,02	-2,19	-2,214
CORECELL A600				0,1165	####	17,93	83	1,40	3495	- 15,02	14,98	-3,55	3,564
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,00	9987	58	286	14,98	15,13	1,23	1,215
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,15	10754	183	286	15,13	15,28	3,56	3,524
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,30	10754	183	286	15,28	15,43	3,52	3,490
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,46	37843	931	286	15,43	15,58	5,05	4,996
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,61	9987	58	286	15,58	15,73	1,18	1,168
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,76	10754	183	286	15,73	15,89	3,42	3,390
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,91	10754	183	286	15,89	16,04	3,39	3,358
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,06	37843	931	286	16,04	16,19	4,85	4,809
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,21	9987	58	286	16,19	16,34	1,14	1,125
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,37	10754	183	286	16,34	16,49	3,30	3,265
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,52	10754	183	286	16,49	16,64	3,27	3,235
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,67	37843	931	286	16,64	16,80	4,00	4,635
TOTALES	5250				####				####				

A2-M3 Presión = 62.8 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	- 17,95	-16,84	-2,44	-2,597
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	- 16,84	-16,69	-2,74	-2,760
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	- 16,69	-16,54	-3,23	-3,255
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	- 16,54	-16,39	-3,26	-3,286
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	- 16,39	-16,24	-2,03	-2,049
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,79	37843	551	286	- 16,24	-16,09	-2,84	-2,864
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,94	10754	183	286	- 16,09	-15,93	-3,35	-3,379
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,09	10754	183	286	- 15,93	-15,78	-3,38	-3,412
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,24	9987	105	286	- 15,78	-15,63	-2,11	-2,128
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,39	37843	551	286	- 15,63	-15,48	-2,95	-2,976
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,55	10754	183	286	- 15,48	-15,33	-3,48	-3,513
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,70	10754	183	286	- 15,33	-15,18	-3,51	-3,548
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,85	9987	105	286	- 15,18	-15,02	-2,19	-2,214
CORECELL A600				0,1165	####	17,93	83	1,40	3495	- 15,02	14,98	-3,55	3,564
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,00	9987	58	286	14,98	15,13	1,23	1,215
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,15	10754	183	286	15,13	15,28	3,56	3,524
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,30	10754	183	286	15,28	15,43	3,52	3,490
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,46	37843	931	286	15,43	15,58	5,05	4,996
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,61	9987	58	286	15,58	15,73	1,18	1,168
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,76	10754	183	286	15,73	15,89	3,42	3,390
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,91	10754	183	286	15,89	16,04	3,39	3,358
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,06	37843	931	286	16,04	16,19	4,85	4,809
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,21	9987	58	286	16,19	16,34	1,14	1,125
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,37	10754	183	286	16,34	16,49	3,30	3,265
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,52	10754	183	286	16,49	16,64	3,27	3,235
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,67	37843	931	286	16,64	16,80	4,00	4,635
TOTALES	5250				####				####				

M3-A3 Presión = 62.8 kN/m²

capa	PESO	% fb	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	- 17,95	-16,84	-2,44	-2,597
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	- 16,84	-16,69	-2,74	-2,760
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	- 16,69	-16,54	-3,23	-3,255
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	- 16,54	-16,39	-3,26	-3,286
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	- 16,39	-16,24	-2,03	-2,049
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,79	37843	551	286	- 16,24	-16,09	-2,84	-2,864
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,94	10754	183	286	- 16,09	-15,93	-3,35	-3,379
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,09	10754	183	286	- 15,93	-15,78	-3,38	-3,412
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,24	9987	105	286	- 15,78	-15,63	-2,11	-2,128
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,39	37843	551	286	- 15,63	-15,48	-2,95	-2,976
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,55	10754	183	286	- 15,48	-15,33	-3,48	-3,513
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,70	10754	183	286	- 15,33	-15,18	-3,51	-3,548
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,85	9987	105	286	- 15,18	-15,02	-2,19	-2,214
CORECELL A600				0,1165	####	17,93	83	1,40	3495	- 15,02	14,98	-3,55	3,564
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,00	9987	58	286	14,98	15,13	1,23	1,215
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,15	10754	183	286	15,13	15,28	3,56	3,524
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,30	10754	183	286	15,28	15,43	3,52	3,490
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,46	37843	931	286	15,43	15,58	5,05	4,996
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,61	9987	58	286	15,58	15,73	1,18	1,168
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,76	10754	183	286	15,73	15,89	3,42	3,390
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,91	10754	183	286	15,89	16,04	3,39	3,358
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,06	37843	931	286	16,04	16,19	4,85	4,809
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,21	9987	58	286	16,19	16,34	1,14	1,125
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,37	10754	183	286	16,34	16,49	3,30	3,265
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,52	10754	183	286	16,49	16,64	3,27	3,235
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,67	37843	931	286	16,64	16,80	4,00	4,635
TOTALES	5250				####				####				

A3-M4

Presión = 62.8 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	- 17,95	-16,84	-2,44	-2,597
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	- 16,84	-16,69	-2,74	-2,760
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	- 16,69	-16,54	-3,23	-3,255
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	- 16,54	-16,39	-3,26	-3,286
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	- 16,39	-16,24	-2,03	-2,049
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,79	37843	551	286	- 16,24	-16,09	-2,84	-2,864
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,94	10754	183	286	- 16,09	-15,93	-3,35	-3,379
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,09	10754	183	286	- 15,93	-15,78	-3,38	-3,412
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,24	9987	105	286	- 15,78	-15,63	-2,11	-2,128
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,39	37843	551	286	- 15,63	-15,48	-2,95	-2,976
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,55	10754	183	286	- 15,48	-15,33	-3,48	-3,513
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,70	10754	183	286	- 15,33	-15,18	-3,51	-3,548
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,85	9987	105	286	- 15,18	-15,02	-2,19	-2,214
CORECELL A600				0,1165	####	17,93	83	1,40	3495	- 15,02	14,98	-3,55	3,564
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,00	9987	58	286	14,98	15,13	1,23	1,215
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,15	10754	183	286	15,13	15,28	3,56	3,524
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,30	10754	183	286	15,28	15,43	3,52	3,490
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,46	37843	931	286	15,43	15,58	5,05	4,996
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,61	9987	58	286	15,58	15,73	1,18	1,168
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,76	10754	183	286	15,73	15,89	3,42	3,390
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,91	10754	183	286	15,89	16,04	3,39	3,358
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,06	37843	931	286	16,04	16,19	4,85	4,809
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,21	9987	58	286	16,19	16,34	1,14	1,125
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,37	10754	183	286	16,34	16,49	3,30	3,265
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,52	10754	183	286	16,49	16,64	3,27	3,235
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,67	37843	931	286	16,64	16,80	4,00	4,635
TOTALES	5250				####				####				

Cálculo de quilla y chines

Quilla

Manga del laminado de quilla

$$b_K = 7,0L_R + 340 \text{ mm}$$

$$t_K = \sqrt{k_t} (5,0L_R^{0,45}) \text{ mm}$$

$$k_t = \frac{152}{\sigma_f}$$

Siendo:

b_K : Manga del laminado de la quilla : 522mm

t_K : Espesor de la lámina de la quilla : 11.56 mm

k_t : Tensión última del material : 51N/mm²

Quilla

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	- 6,44	-5,34	- 1,19	-1,442
Unidireccional	6000	0,7	0,01	2,54	4,55	3,38	10754	183	8571	- 5,34	-0,78	- 1,78	-12,072
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	5,73	10754	183	286	- 0,78	-0,63	- 12,07	-14,965
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	5,88	10754	183	286	- 0,63	-0,48	- 14,97	-19,683
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,04	10754	183	286	- 0,48	-0,33	- 19,68	-28,743
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,19	9987	105	286	- 0,33	-0,18	- 17,76	-32,906
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,34	37843	551	286	- 0,18	-0,03	- 45,57	-309,874
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,49	10754	183	286	- 0,03	0,13	- 362,16	75,451
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,64	10754	183	286	0,13	0,28	75,45	34,166
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,79	9987	105	286	0,28	0,43	21,11	13,644
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,95	9987	58	286	0,43	0,58	7,54	5,568
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	7,10	10754	183	286	0,58	0,73	16,31	12,934
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	7,25	10754	183	286	0,73	0,88	12,93	10,715
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	7,40	37843	931	286	0,88	1,04	15,49	13,222
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	7,55	9987	58	286	1,04	1,19	3,12	2,722
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	7,70	10754	183	286	1,19	1,34	7,98	7,074
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	7,86	10754	183	286	1,34	1,49	7,07	6,354
Unidireccional	6000	0,7	0,01	2,54	4,55	10,21	10754	183	8571	1,49	6,04	6,35	1,568
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	12,56	10754	183	286	6,04	6,19	1,57	1,529
TOTALES	15650				12,63				23214				

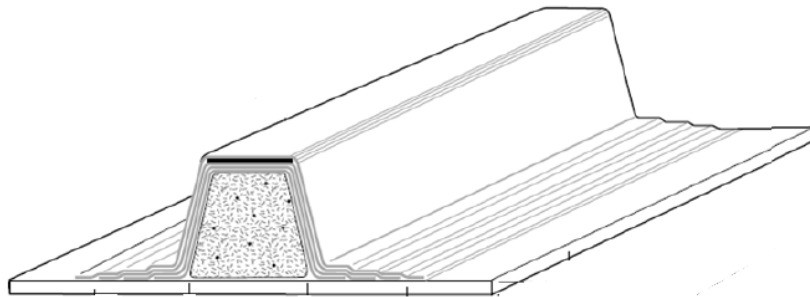
Laminado Chines

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS-UTS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	- 5,95	-4,85	- 2,18	-2,673
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	- 4,85	-4,70	- 2,82	-2,906
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	- 4,70	-4,54	- 3,40	-3,510
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	- 4,54	-4,39	- 3,51	-3,631
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	- 4,39	-4,24	- 2,24	-2,324
Unidireccional	5000	0,7	0,01	2,54	3,79	3,61	37843	551	7143	- 4,24	-0,45	- 3,22	-30,381
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	5,58	37843	551	286	- 0,45	-0,30	- 30,38	-45,867
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	5,73	10754	183	286	- 0,30	-0,15	- 53,61	-109,343
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	5,88	10754	183	286	- 0,15	0,01	- 109,34	2751,946
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,04	9987	105	286	0,01	0,16	1.700,25	62,583
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,19	9987	58	286	0,16	0,31	34,57	17,609
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,34	10754	183	286	0,31	0,46	51,60	34,614
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,49	10754	183	286	0,46	0,61	34,61	26,042
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	6,64	37843	931	7143	0,61	0,76	37,65	30,177
UNidireccional	5000	0,7	0,01	2,54	3,79	8,61	37843	931	286	0,76	4,56	30,18	5,061
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	10,59	9987	58	286	4,56	4,71	1,19	1,156
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	10,74	10754	183	286	4,71	4,86	3,39	3,282
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	10,89	10754	183	286	4,86	5,01	3,28	3,183
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	11,04	37843	931	286	5,01	5,16	4,60	4,467
TOTALES	13650				11,12				20357				

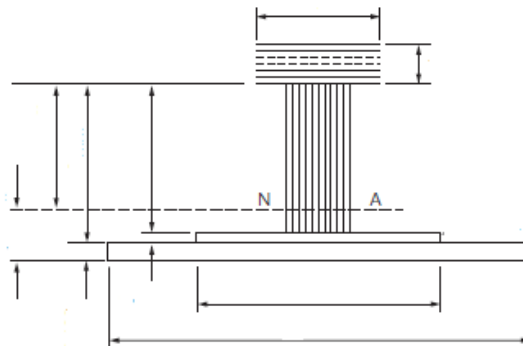


Cálculo de los refuerzos de fondo

En este apartado realizaremos el cálculo directo de los refuerzos de fondo que soportan las planchas anteriores.



Estos elementos están sometidos a la presión calculada de la misma manera que lo está en el apartado anterior. El refuerzo se calcula asemejando la omega a una viga en **I**



La manera de proceder es la misma que la anterior.

En este caso, hemos de asegurar que el esfuerzo cortante soportado cumple con un factor de seguridad de 4. La resistencia a esfuerzos cortantes del laminado viene determinada por:

$\tau_s = 80 G_c + 38$, con lo que para nuestro contenido de 0,7 de fibra por infusión es 94 N/mm^2

El esfuerzo cortante lo calcularemos mediante $F_s = \phi_s p s l_e N$

Mediante el área que tengamos de alma de refuerzo podremos calcular el coeficiente de seguridad que tenemos para el esfuerzo cortante.

Observamos el cambio en las presiones ya que el k_2 mínimo ahora es 0,35 y no 0,5 como para las planchas.

Longitudinal 0-M1 Presión=29.2 kN/m²

Separacion refuerzos = 0,61 mm. Ancho base = 250 mm.
 Longitud sin soporte = 2,86 mm. Ancho ala = 200 mm.
 Posicion longitud = 2,86 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fib	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS sup	CS inf
CSM 200	450	1170	0,4	0,01	2,54	610	0,75	0,37	9840	130	-57,12	-56,38	-2,19	-2,22
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,82	37843	551	-56,38	-56,22	-2,45	-2,46
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,97	10754	183	-56,22	-56,07	-2,87	-2,88
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,13	10754	183	-56,07	-55,92	-2,88	-2,89
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,28	9987	105	-55,92	-55,77	-1,78	-1,79
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,43	37843	551	-55,77	-55,62	-2,48	-2,48
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,58	10754	183	-55,62	-55,47	-2,90	-2,91
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,73	10754	183	-55,47	-55,31	-2,91	-2,92
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,88	9987	105	-55,31	-55,16	-1,80	-1,81
CORECELL A600		0			0,1	610	30,00	16,96	58	0,79	-55,16	-25,16	-2,34	-5,13
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,04	9987	105	-25,16	-25,01	-3,96	-3,99
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,19	10754	183	-25,01	-24,86	-6,45	-6,49
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,34	10754	183	-24,86	-24,71	-6,49	-6,53
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,49	37843	931	-24,71	-24,56	-9,45	-9,50
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,64	9987	105	-24,56	-24,40	-4,06	-4,09
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,79	10754	183	-24,40	-24,25	-6,61	-6,66
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,95	10754	183	-24,25	-24,10	-6,66	-6,70
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,10	37843	931	-24,10	-23,95	-9,68	-9,74
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,25	9987	105	-23,95	-23,80	-4,16	-4,19
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,40	10754	183	-23,80	-23,65	-6,78	-6,83
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,55	10754	183	-23,65	-23,49	-6,83	-6,87
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,71	37843	931	-23,49	-23,34	-9,93	-10,00

Alma

CAPA	ESO Fib	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	200	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	200	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	200	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	200	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	200	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	200	0,30	133,78	8000	160

Ala

CAPA	ESO Fib	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	200	0,38	233,97	8000	160	176,66	177,04	2,148	2,143
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	200	0,38	234,36	8000	160	177,04	177,43	2,143	2,139
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	200	0,38	234,74	8000	160	177,43	177,81	2,139	2,134
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	200	0,38	235,12	8000	160	177,81	178,19	2,134	2,129
QUA Uni 200-90	0	0	0,6	0,01	2,54	200	0,00	235,32	29500	930	177,81	178,19	3,364	3,356
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	200	0,77	235,70	8000	160	178,58	178,96	2,125	2,120
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	200	0,77	236,47	8000	160	179,34	179,73	2,116	2,111

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.26

Longitudinal M1-M2 Presión =32,9 kN/m²

Separacion refuerzos = 0,61 mm. Ancho base = 150 mm.
 Longitud sin soporte = 3,6 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 6,46 m. Altura = 250 mm.

Plancha asociada

CAPA	SO F	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	1170	0,4	0,01	2,54	610	0,75	0,37	9840	130	-1,79	-1,81
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,82	37843	551	-2,00	-2,00
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,97	10754	183	-2,34	-2,34
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,13	10754	183	-2,34	-2,35
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,28	9987	105	-1,45	-1,46
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,43	37843	551	-2,02	-2,02
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,58	10754	183	-2,36	-2,37
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,73	10754	183	-2,37	-2,37
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,88	9987	105	-1,47	-1,47
CORECELL A600		0			0,1	610	30,00	16,96	58	0,79	-1,91	-3,87
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,04	9987	105	-2,99	-3,00
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,19	10754	183	-4,86	-4,88
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,34	10754	183	-4,88	-4,91
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,49	37843	931	-7,10	-7,14
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,64	9987	105	-3,05	-3,07
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,79	10754	183	-4,96	-4,99
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,95	10754	183	-4,99	-5,02
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,10	37843	931	-7,25	-7,29
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,25	9987	105	-3,12	-3,13
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,40	10754	183	-5,07	-5,10
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,55	10754	183	-5,10	-5,13
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,71	37843	931	-7,41	-7,45

Alma

CAPA	SO F	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	250	0,30	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	250	0,30	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	250	0,30	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	250	0,61	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	250	0,61	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	250	0,61	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	250	0,61	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	250	0,61	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	250	0,61	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	250	0,30	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	250	0,30	158,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	250	0,30	158,78	8000	160

Ala

CAPA	SO Fi	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	100	0,61	284,08	8000	160	1,421	1,417
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	100	0,61	284,69	8000	160	1,417	1,413
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	100	0,61	285,30	8000	160	1,413	1,409
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	100	0,61	285,90	8000	160	1,409	1,406
QUA Uni 200-90	0	0,7	0,01	2,54	100	0,00	286,21	29500	930	2,222	2,216
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	100	0,61	286,51	8000	160	1,406	1,402
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	100	0,30	286,97	8000	160	1,404	1,400

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.09

Longitudinal M2-A1 Presión =41.9 kN/m²

Separacion refuerzos = 0,61 mm. Ancho base = 200 mm.
 Longitud sin soporte = 2,44 mm. Ancho ala = 150 mm.
 Posicion longitud = 8,9 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	1170	0,4	0,01	2,54	0,75	0,37	9840	130	-51,66	-50,91	-2,22	-2,25
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,82	37843	551	-50,91	-50,76	-2,48	-2,49
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,97	10754	183	-50,76	-50,61	-2,91	-2,91
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,13	10754	183	-50,61	-50,46	-2,91	-2,92
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,28	9987	105	-50,46	-50,30	-1,81	-1,81
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,43	37843	551	-50,30	-50,15	-2,51	-2,52
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,58	10754	183	-50,15	-50,00	-2,94	-2,95
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,73	10754	183	-50,00	-49,85	-2,95	-2,96
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,88	9987	105	-49,85	-49,70	-1,83	-1,83
CORECELL A600		0			0,1	30,00	16,96	58	0,79	-49,70	-19,70	-2,38	-5,99
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,04	9987	58	-19,70	-19,55	-2,56	-2,57
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,19	10754	183	-19,55	-19,39	-7,54	-7,60
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,34	10754	183	-19,39	-19,24	-7,60	-7,66
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,49	37843	931	-19,24	-19,09	-11,08	-11,17
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,64	9987	58	-19,09	-18,94	-2,64	-2,66
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,79	10754	183	-18,94	-18,79	-7,79	-7,85
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,95	10754	183	-18,79	-18,64	-7,85	-7,91
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,10	37843	931	-18,64	-18,48	-11,44	-11,53
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,25	9987	58	-18,48	-18,33	-2,72	-2,75
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,40	10754	183	-18,33	-18,18	-8,04	-8,11
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,55	10754	183	-18,18	-18,03	-8,11	-8,18
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,71	37843	931	-18,03	-17,88	-11,83	-11,93

Alma

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,78	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,78	8000	160

Ala

CAPA	ESO Fib	ESO To	% fib	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxd	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	0,77	234,16	8000	160	182,12	182,89	1,903	1,895
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	0,77	234,93	8000	160	182,89	183,66	1,895	1,888
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	0,38	235,51	8000	160	183,27	184,04	1,891	1,884
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	0,38	235,89	8000	160	183,66	184,42	1,888	1,880
QUA Uni 200-90	0	0	0,6	0,01	2,54	0,00	236,08	29500	930	183,66	184,42	2,975	2,963
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	0,38	236,27	8000	160	184,04	184,81	1,884	1,876
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	0,38	236,66	8000	160	184,42	185,19	1,880	1,872

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.01

Longitudinal A1-A2 Presión = 45.6 kN/m²

Separacion refuerzos = 0,61 mm. Ancho base = 150 mm.
 Longitud sin soporte = 2,74 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 11,7 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fib	ESO To	% fib	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxd	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix	CS top nofix	CS bott nofix
CSM 200	200	520	0,4	0,01	2,54	610	0,33	0,17	9840	130	-53,34	-53,01	-1,70	-1,71	-3,71	-3,74
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,41	37843	551	-53,01	-52,86	-1,89	-1,89	-4,12	-4,13
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,56	10754	183	-52,86	-52,70	-2,21	-2,22	-4,83	-4,84
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,71	10754	183	-52,70	-52,55	-2,22	-2,22	-4,84	-4,86
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,86	9987	105	-52,55	-52,40	-1,37	-1,38	-3,00	-3,01
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,01	37843	551	-52,40	-52,25	-1,91	-1,91	-4,17	-4,18
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,17	10754	183	-52,25	-52,10	-2,24	-2,24	-4,88	-4,90
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,32	10754	183	-52,10	-51,95	-2,24	-2,25	-4,90	-4,91
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,47	9987	105	-51,95	-51,79	-1,39	-1,39	-3,04	-3,04
CORECELL A600	0			0,1		610	30,00	16,55	58	0,79	-51,79	-21,79	-1,81	-4,29	-3,94	-9,37
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	31,62	9987	58	-21,79	-21,64	-1,83	-1,84	-4,00	-4,02
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	31,77	10754	183	-21,64	-21,49	-5,40	-5,44	-11,79	-11,88
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	31,92	10754	183	-21,49	-21,34	-5,44	-5,47	-11,88	-11,96
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,08	37843	931	-21,34	-21,19	-7,91	-7,97	-17,29	-17,42
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,23	9987	58	-21,19	-21,04	-1,88	-1,90		
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,38	10754	183	-21,04	-20,88	-5,55	-5,59		
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,53	10754	183	-20,88	-20,73	-5,59	-5,63		
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,68	37843	931	-20,73	-20,58	-8,15	-8,21		
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,83	9987	58	-20,58	-20,43	-1,94	-1,95	-4,23	-4,26
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,99	10754	183	-20,43	-20,28	-5,72	-5,76	-12,49	-12,59
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,14	10754	183	-20,28	-20,13	-5,76	-5,80	-12,59	-12,68
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,29	37843	931	-20,13	-19,97	-8,39	-8,46	-18,33	-18,47

Alma

CAPA	ESO Fib	ESO To	% fib	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	200	0,30	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	200	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	200	0,30	133,37	8000	160

Ala

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	w	ESP	Z capa	Ex	Fxt-Fxd	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	233,75	8000	160	180,03	180,79	1,525	1,519
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	234,52	8000	160	180,79	181,56	1,519	1,512
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	235,28	8000	160	181,56	182,33	1,512	1,506
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	235,86	8000	160	181,94	182,71	1,509	1,503
QUA Uni 200-90	0	0	0,6	0,01	2,54	100	0,00	236,05	29500	930	181,94	182,71	2,379	2,369
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	236,24	8000	160	182,33	183,09	1,506	1,500
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	236,63	8000	160	182,71	183,48	1,503	1,497

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.01

Longitudinal A2-M3

Presión = 46 kN/m²

Separacion refuerzos = 0,61 mm. Ancho base = 200 mm.
 Longitud sin soporte = 3,1 mm. Ancho ala = 150 mm.
 Posicion longitud = 14,7 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP	Z capa	Ex	Fxt-Fxd	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	200	520	0,4	0,01	2,54	0,33	0,17	9840	130	-55,04	-54,71	-1,66	-1,67
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,41	37843	551	-54,71	-54,55	-1,84	-1,84
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,56	10754	183	-54,55	-54,40	-2,15	-2,16
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,71	10754	183	-54,40	-54,25	-2,16	-2,17
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,86	9987	105	-54,25	-54,10	-1,34	-1,34
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,01	37843	551	-54,10	-53,95	-1,86	-1,86
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,17	10754	183	-53,95	-53,80	-2,18	-2,18
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,32	10754	183	-53,80	-53,64	-2,18	-2,19
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,47	9987	105	-53,64	-53,49	-1,35	-1,36
CORECELL A600		0			0,1	30,00	16,55	58	0,79	-53,49	-23,49	-1,76	-4,00
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,62	9987	105	-23,49	-23,34	-3,09	-3,11
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,77	10754	183	-23,34	-23,19	-5,03	-5,07
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,92	10754	183	-23,19	-23,04	-5,07	-5,10
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,08	37843	931	-23,04	-22,89	-7,37	-7,42
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,23	9987	2	-22,89	-22,73	-0,05	-0,05
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,38	10754	183	-22,73	-22,58	-5,17	-5,20
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,53	10754	183	-22,58	-22,43	-5,20	-5,24
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,68	37843	931	-22,43	-22,28	-7,57	-7,62
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,83	9987	105	-22,28	-22,13	-3,26	-3,28
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,99	10754	183	-22,13	-21,98	-5,31	-5,34
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,14	10754	183	-21,98	-21,82	-5,34	-5,38
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,29	37843	931	-21,82	-21,67	-7,78	-7,84

Alma

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	1,21	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	1,21	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160

Ala

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	0,77	233,75	8000	160	165,70	166,47	1,724	1,717
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	0,77	234,52	8000	160	166,47	167,24	1,717	1,709
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	0,77	235,28	8000	160	167,24	168,00	1,709	1,701
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	0,77	236,05	8000	160	168,00	168,77	1,701	1,693
QUA Uni 200-90	0	0	0,6	0,01	2,54	0,00	236,43	29500	930	168,00	168,77	2,681	2,669
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	0,77	236,82	8000	160	168,77	169,54	1,693	1,685
QUA Uni 200-45	1600		0,6	0,01	2,54	1,53	237,97	8000	160	170,30	171,07	1,678	1,670

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.02

Longitudinal M3-A3 Presión= 42,9 kN/m²

Separacion refuerzos = 0,61 mm. Ancho base = 200 mm.
 Longitud sin soporte = 4,25 mm. Ancho ala = 150 mm.
 Posicion longitud = 19,1 m. Altura = 250 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	200	520	0,4	0,01	2,54	0,33	0,17	9840	130	-82,01	-81,68	-1,32	-1,33
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,41	37843	551	-81,68	-81,52	-1,46	-1,47
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,56	10754	183	-81,52	-81,37	-1,71	-1,72
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,71	10754	183	-81,37	-81,22	-1,72	-1,72
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,86	9987	105	-81,22	-81,07	-1,06	-1,07
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,01	37843	551	-81,07	-80,92	-1,48	-1,48
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,17	10754	183	-80,92	-80,77	-1,73	-1,73
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,32	10754	183	-80,77	-80,61	-1,73	-1,73
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,47	9987	105	-80,61	-80,46	-1,07	-1,07
CORECELL A600		0			0,1	30,00	16,55	58	0,79	-80,46	-50,46	-1,39	-2,22
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,62	9987	105	-50,46	-50,31	-1,71	-1,72
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,77	10754	183	-50,31	-50,16	-2,78	-2,79
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,92	10754	183	-50,16	-50,01	-2,79	-2,80
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,08	37843	931	-50,01	-49,86	-4,04	-4,05
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,23	9987	105	-49,86	-49,70	-1,73	-1,74
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,38	10754	183	-49,70	-49,55	-2,81	-2,82
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,53	10754	183	-49,55	-49,40	-2,82	-2,83
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,68	37843	931	-49,40	-49,25	-4,09	-4,10
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,83	9987	105	-49,25	-49,10	-1,75	-1,76
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,99	10754	183	-49,10	-48,95	-2,85	-2,86
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,14	10754	183	-48,95	-48,79	-2,86	-2,87
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,29	37843	931	-48,79	-48,64	-4,14	-4,16

Alma

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	1,21	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	1,21	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	158,37	8000	160

Ala

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	1,21	283,97	8000	160	205,42	206,63	1,250	1,243
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	284,88	8000	160	206,03	207,24	1,247	1,239
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	285,49	8000	160	206,63	207,85	1,243	1,236
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	286,10	8000	160	207,24	208,45	1,239	1,232
QUA Uni 200-90	0	0	0,7	0,01	2,54	0,00	286,40	29500	930	207,24	208,45	1,954	1,942
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	286,70	8000	160	207,85	209,06	1,236	1,229
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	287,31	8000	160	208,45	209,67	1,232	1,225

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.08

Longitudinal A3-M4 Presión = 26,8 kN/m²

Plancha asociada

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	200	520	0,4	0,01	2,54	0,33	0,17	9840	130	-48,51	-48,18	-1,48	-1,49
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,41	37843	551	-48,18	-48,03	-1,65	-1,65
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,56	10754	183	-48,03	-47,88	-1,93	-1,94
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,71	10754	183	-47,88	-47,73	-1,94	-1,94
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	0,86	9987	105	-47,73	-47,57	-1,20	-1,20
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,01	37843	551	-47,57	-47,42	-1,67	-1,67
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,17	10754	183	-47,42	-47,27	-1,96	-1,96
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,32	10754	183	-47,27	-47,12	-1,96	-1,97
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	1,47	9987	105	-47,12	-46,97	-1,22	-1,22
CORECELL A600		0			0,1	30,00	16,55	58	0,79	-46,97	-16,97	-1,58	-4,38
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,62	9987	58	-16,97	-16,82	-1,87	-1,88
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,77	10754	183	-16,82	-16,66	-5,52	-5,57
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	31,92	10754	183	-16,66	-16,51	-5,57	-5,62
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,08	37843	931	-16,51	-16,36	-8,12	-8,20
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,23	9987	58	-16,36	-16,21	-1,93	-1,95
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,38	10754	183	-16,21	-16,06	-5,72	-5,78
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,53	10754	183	-16,06	-15,91	-5,78	-5,83
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,68	37843	931	-15,91	-15,75	-8,43	-8,51
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,83	9987	58	-15,75	-15,60	-2,01	-2,03
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	32,99	10754	183	-15,60	-15,45	-5,94	-6,00
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,14	10754	183	-15,45	-15,30	-6,00	-6,06
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	0,15	33,29	37843	931	-15,30	-15,15	-8,76	-8,85

Alma

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	0,61	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,37	8000	160
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	133,37	8000	160

Ala

CAPA	ESO Fi	ESO To	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	233,52	8000	160	184,85	185,16	1,179	1,177
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	233,82	8000	160	185,16	185,46	1,177	1,176
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	234,12	8000	160	185,46	185,76	1,176	1,174
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	234,43	8000	160	185,76	186,07	1,174	1,172
QUA Uni 200-90	0	0	0,7	0,01	2,54	0,00	234,58	29500	930	185,76	186,07	1,850	1,847
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	234,73	8000	160	186,07	186,37	1,172	1,170
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,01	2,54	0,30	235,03	8000	160	186,37	186,67	1,170	1,168

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.06

Anillo A1 (Varenga) Presión = 36 kN/m²

Separacion refuerzos =	2,6 mm.	Ancho base =	150 mm.
Longitud sin soporte =	2,5 mm.	Ancho ala =	100 mm.
Posicion longitud =	8,9 m.	Altura =	400 mm.

Plancha asociada

CAPA	SO F _i	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	610	0,75	0,37	9840	130	-8,76	-8,81
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,82	37843	551	-9,71	-9,72
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,97	10754	183	-11,36	-11,37
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,13	10754	183	-11,37	-11,38
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,28	9987	105	-7,03	-7,04
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,43	37843	551	-9,75	-9,76
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,58	10754	183	-11,41	-11,42
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,73	10754	183	-11,42	-11,44
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,88	9987	105	-7,07	-7,07
CORECELL A600				0,1	610	30,00	16,96	58	0,79	-9,16	-11,80
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,04	9987	105	-9,11	-9,12
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,19	10754	183	-14,76	-14,79
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,34	10754	183	-14,79	-14,81
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,49	37843	931	-21,41	-21,44
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,64	9987	105	-9,16	-9,18
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,79	10754	183	-14,85	-14,87
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,95	10754	183	-14,87	-14,89
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,10	37843	931	-21,53	-21,56
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,25	9987	105	-9,22	-9,23
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,40	10754	183	-14,94	-14,96
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,55	10754	183	-14,96	-14,98
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,71	37843	931	-21,66	-21,69

Alma

CAPA	SO F _i	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160

Ala

CAPA	SO F _i	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	434,16	8000	160	12,145	12,114
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	435,32	8000	160	12,083	12,052
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	436,47	8000	160	12,052	12,021
QUA Uni 200-45	400	0,6	0,01	2,54	100	0,38	437,04	8000	160	12,036	12,006
QUA Uni 200-90	1000	0,6	0,01	2,54	100	0,96	437,71	29500	930	18,912	18,864
QUA Uni 200-45	400	0,6	0,01	2,54	100	0,38	438,38	8000	160	11,983	11,952
QUA Uni 200-45	400	0,6	0,01	2,54	100	0,38	438,77	8000	160	11,968	11,937

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.05

Anillo 2 (varenga) Presión = 40,6 kN/m²

Separacion refuerzos =	2,6 mm.	Ancho base =	150 mm.
Longitud sin soporte =	2,5 mm.	Ancho ala =	100 mm.
Posición longitud =	11,64 m.	Altura =	400 mm.

Plancha asociada

CAPA	SO F	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	1170	0,4	0,01	2,54	610	0,75	0,37	9840	130	-8,30	-8,34
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,82	37843	551	-9,19	-9,21
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,97	10754	183	-10,76	-10,77
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,13	10754	183	-10,77	-10,78
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,28	9987	105	-6,66	-6,67
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,43	37843	551	-9,24	-9,25
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,58	10754	183	-10,81	-10,82
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,73	10754	183	-10,82	-10,83
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,88	9987	105	-6,69	-6,70
CORECELL A600		0			0,1	610	30,00	16,96	58	0,79	-8,68	-11,13
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,04	9987	105	-8,59	-8,60
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,19	10754	183	-13,92	-13,94
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,34	10754	183	-13,94	-13,96
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,49	37843	931	-20,18	-20,21
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,64	9987	105	-8,64	-8,65
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,79	10754	183	-14,00	-14,02
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,95	10754	183	-14,02	-14,04
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,10	37843	931	-20,30	-20,33
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,25	9987	105	-8,69	-8,70
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,40	10754	183	-14,08	-14,10
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,55	10754	183	-14,10	-14,12
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,71	37843	931	-20,41	-20,44

Alma

CAPA	SO F	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	400	1,21	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,01	2,54	400	0,61	233,78	8000	160

Ala

CAPA	SO F	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	434,16	8000	160	11,767	11,736
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	434,93	8000	160	11,736	11,706
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	435,70	8000	160	11,706	11,676
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	436,27	8000	160	11,691	11,661
QUA Uni 200-90	1000	2400	0,6	0,01	2,54	100	0,96	436,95	29500	930	18,369	18,322
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	437,62	8000	160	11,638	11,609
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	438,00	8000	160	11,624	11,594

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.04

Anillo 3 (Varenga) Presión = 38,3 kN/m²

Separacion refuerzos = 4 mm. Ancho base = 150 mm.
 Longitud sin soporte = 2,5 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 19 m. Altura = 500 mm.

Plancha asociada

CAPA	SO F	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	1170	0,4	0,01	2,54	610	0,75	0,37	9840	130	-14,21	-14,27
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,82	37843	551	-15,73	-15,74
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	0,97	10754	183	-18,40	-18,41
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,13	10754	183	-18,41	-18,43
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,28	9987	105	-11,39	-11,40
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,43	37843	551	-15,78	-15,79
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,58	10754	183	-18,46	-18,48
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,73	10754	183	-18,48	-18,49
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	1,88	9987	105	-11,42	-11,43
CORECELL A600		0			0,1	610	30,00	16,96	58	0,79	-14,81	-17,86
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,04	9987	105	-13,79	-13,80
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,19	10754	183	-22,34	-22,37
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,34	10754	183	-22,37	-22,39
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,49	37843	931	-32,37	-32,40
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,64	9987	105	-13,85	-13,86
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,79	10754	183	-22,44	-22,46
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	32,95	10754	183	-22,46	-22,48
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,10	37843	931	-32,50	-32,54
QUA Uni 200-0	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,25	9987	105	-13,91	-13,92
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,40	10754	183	-22,53	-22,55
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,55	10754	183	-22,55	-22,58
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	610	0,15	33,71	37843	931	-32,64	-32,68

Alma

CAPA	SO F	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160
QUA Uni 200-45	1600		0,7	0,01	2,54	500	1,21	283,78	8000	160

Ala

CAPA	SO F	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	534,16	8000	160	21,456	21,410
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	534,93	8000	160	21,410	21,364
QUA Uni 200-45	800		0,6	0,01	2,54	100	0,77	535,70	8000	160	21,364	21,318
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	536,27	8000	160	21,341	21,295
QUA Uni 200-90	0	0	0,6	0,01	2,54	100	0,00	536,47	29500	930	33,639	33,567
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	536,66	8000	160	21,318	21,272
QUA Uni 200-45	400		0,6	0,01	2,54	100	0,38	537,04	8000	160	21,295	21,250

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.07

Cálculo de las presiones de costado

Las presiones de costado vienen definidas por:

$$z > T:$$

$$p_s = 10 \cdot (T + S - z)$$

	S	p_{smin}
$x/L \geq 0,9$	$T \leq 0,36 \cdot a_{CG} \cdot \frac{\sqrt{L}}{C_B} \leq 3,5 \cdot T$	$20 \leq \frac{L+75}{5} \leq 35$
$x/L \leq 0,5$	$T \leq 0,60 \cdot a_{CG} \cdot \sqrt{L} \leq 2,5 \cdot T$	$10 \leq \frac{L+75}{10} \leq 20$

Para la eslora comprendida entre:

$$(0,5 < x/L < 0,9)$$

$$p_s = p_{sFP} - (2,25 - 2,5 \cdot x/L) \cdot (p_{sFP} - p_{sM})$$

Siendo:

Z: Altura del borde inferior del panel

T: Calado del yate

PsFP: Presión en la perpendicular de proa

PsM: presión en la sección media

Calculo de los paneles de costado

La estructura de costado se calculará de la misma manera que las anteriores, con la diferencia de que se aplicarán las presiones de costado que le corresponda según el reglamento.

Panel costado M0-M1 Presión = 35,5 kN/m²

capa	PESO	% fib	voids	DENS	ESP	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,02	-15,91	-2,87	-3,068
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-15,91	-15,76	-3,23	-3,263
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-15,76	-15,61	-3,81	-3,851
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-15,61	-15,46	-3,85	-3,889
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-15,46	-15,30	-2,40	-2,426
CORECELL A600				0,117	30,00	16,71	83	1,40	3495	-15,30	14,70	-3,89	4,053
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,79	9987	58	286	14,70	14,85	1,40	1,381
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,94	10754	183	286	14,85	15,00	4,05	4,006
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,09	10754	183	286	15,00	15,15	4,01	3,966
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,24	37843	931	286	15,15	15,30	5,73	5,677
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,39	9987	58	286	15,30	15,46	1,34	1,327
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,55	10754	183	286	15,46	15,61	3,89	3,851
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,70	10754	183	286	15,61	15,76	3,85	3,814
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,85	37843	931	286	15,76	15,91	5,51	5,461

Paneles costado M1-M2

Presión 35,5 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,02	-15,91	-2,84	-3,043
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-15,91	-15,76	-3,20	-3,236
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-15,76	-15,61	-3,78	-3,818
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-15,61	-15,46	-3,82	-3,856
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-15,46	-15,30	-2,38	-2,406
CORECELL A600				0,117	30,00	16,71	83	1,40	3495	-15,30	14,70	-3,86	4,019
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,79	9987	58	286	14,70	14,85	1,38	1,370
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,94	10754	183	286	14,85	15,00	4,01	3,973
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,09	10754	183	286	15,00	15,15	3,97	3,933
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,24	37843	931	286	15,15	15,30	5,69	5,629
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,39	9987	58	286	15,30	15,46	1,33	1,316
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,55	10754	183	286	15,46	15,61	3,86	3,818
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,70	10754	183	286	15,61	15,76	3,82	3,781
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,85	37843	931	286	15,76	15,91	5,47	5,415

Paneles costado M2-A1

Presión = 35,5 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,02	-15,91	-2,84	-3,043
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-15,91	-15,76	-3,20	-3,236
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-15,76	-15,61	-3,78	-3,818
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-15,61	-15,46	-3,82	-3,856
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-15,46	-15,30	-2,38	-2,406
CORECELL A600				0,117	30,00	16,71	83	1,40	3495	-15,30	14,70	-3,86	4,019
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,79	9987	58	286	14,70	14,85	1,38	1,370
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,94	10754	183	286	14,85	15,00	4,01	3,973
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,09	10754	183	286	15,00	15,15	3,97	3,933
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,24	37843	931	286	15,15	15,30	5,69	5,629
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,39	9987	58	286	15,30	15,46	1,33	1,316
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,55	10754	183	286	15,46	15,61	3,86	3,818
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,70	10754	183	286	15,61	15,76	3,82	3,781
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,85	37843	931	286	15,76	15,91	5,47	5,415

Paneles costado A1-A2

Presión =35,5 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,02	-15,91	-2,84	-3,043
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-15,91	-15,76	-3,20	-3,236
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-15,76	-15,61	-3,78	-3,818
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-15,61	-15,46	-3,82	-3,856
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-15,46	-15,30	-2,38	-2,406
CORECELL A600				0,117	30,00	16,71	83	1,40	3495	-15,30	14,70	-3,86	4,019
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,79	9987	58	286	14,70	14,85	1,38	1,370
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,94	10754	183	286	14,85	15,00	4,01	3,973
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,09	10754	183	286	15,00	15,15	3,97	3,933
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,24	37843	931	286	15,15	15,30	5,69	5,629
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,39	9987	58	286	15,30	15,46	1,33	1,316
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,55	10754	183	286	15,46	15,61	3,86	3,818
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,70	10754	183	286	15,61	15,76	3,82	3,781
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,85	37843	931	286	15,76	15,91	5,47	5,415

Paneles costado A2-M3 Presión = 36,5 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,02	-15,91	-2,98	-3,191
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-15,91	-15,76	-3,36	-3,394
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-15,76	-15,61	-3,97	-4,005
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-15,61	-15,46	-4,01	-4,044
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-15,46	-15,30	-2,50	-2,524
CORECELL A600				0,117	30,00	16,71	83	1,40	3495	-15,30	14,70	-4,05	4,216
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,79	9987	58	286	14,70	14,85	1,45	1,437
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,94	10754	183	286	14,85	15,00	4,21	4,167
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,09	10754	183	286	15,00	15,15	4,17	4,125
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,24	37843	931	286	15,15	15,30	5,96	5,905
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,39	9987	58	286	15,30	15,46	1,39	1,380
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,55	10754	183	286	15,46	15,61	4,04	4,005
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,70	10754	183	286	15,61	15,76	4,01	3,967
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,85	37843	931	286	15,76	15,91	5,73	5,680

Paneles costado M3-A3 Presión = 39,6 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,02	-15,91	-2,41	-2,575
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-15,91	-15,76	-2,71	-2,739
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-15,76	-15,61	-3,20	-3,232
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-15,61	-15,46	-3,23	-3,264
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-15,46	-15,30	-2,02	-2,036
CORECELL A600				0,117	30,00	16,71	83	1,40	3495	-15,30	14,70	-3,27	3,402
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,79	9987	58	286	14,70	14,85	1,17	1,159
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,94	10754	183	286	14,85	15,00	3,40	3,363
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,09	10754	183	286	15,00	15,15	3,36	3,329
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,24	37843	931	286	15,15	15,30	4,81	4,765
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,39	9987	58	286	15,30	15,46	1,12	1,114
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,55	10754	183	286	15,46	15,61	3,26	3,232
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,70	10754	183	286	15,61	15,76	3,23	3,201
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,85	37843	931	286	15,76	15,91	4,63	4,583

A3-M4 Presión = 42,2 kN/m²

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	1500	-17,02	-15,91	-2,84	-3,043
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	286	-15,91	-15,76	-3,20	-3,236
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	286	-15,76	-15,61	-3,78	-3,818
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	286	-15,61	-15,46	-3,82	-3,856
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	286	-15,46	-15,30	-2,38	-2,406
CORECELL A600				0,117	30,00	16,71	83	1,40	3495	-15,30	14,70	-3,86	4,019
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,79	9987	58	286	14,70	14,85	1,38	1,370
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	31,94	10754	183	286	14,85	15,00	4,01	3,973
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,09	10754	183	286	15,00	15,15	3,97	3,933
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,24	37843	931	286	15,15	15,30	5,69	5,629
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,39	9987	58	286	15,30	15,46	1,33	1,316
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,55	10754	183	286	15,46	15,61	3,86	3,818
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,70	10754	183	286	15,61	15,76	3,82	3,781
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	32,85	37843	931	286	15,76	15,91	5,47	5,415
TOTALES	2850				32,93				8424				

Refuerzos de costado

Longitudinal costado M0-M1 Presión = 35,5 kN/m²

Separacion refuerzos = 700 mm. Ancho base = 100 mm.
 Longitud sin soporte = 2860 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 2,86 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	PESO Fibra	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fi
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	700	0,75	0,37	9840	130	-74,08	-73,33	-6,02	-6,08
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	0,82	37843	551	-73,33	-73,18	-6,70	-6,71
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	0,97	10754	183	-73,18	-73,03	-7,85	-7,86
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	1,13	10754	183	-73,03	-72,88	-7,86	-7,88
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	1,28	9987	105	-72,88	-72,72	-4,87	-4,88
CORECELL A600				0,1	700	30,00	16,35	58	0,79	-72,72	-42,72	-6,32	-10,76
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	700	0,00	31,35	9987	105	-42,72	-42,72	-8,30	-8,30
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	31,43	10754	183	-42,72	-42,57	-13,44	-13,49
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	31,58	10754	183	-42,57	-42,42	-13,49	-13,53
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	31,73	37843	551	-42,42	-42,27	-11,58	-11,62
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	31,88	9987	105	-42,27	-42,12	-8,39	-8,42
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	32,04	10754	183	-42,12	-41,97	-13,63	-13,68
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	32,19	10754	183	-41,97	-41,81	-13,68	-13,73
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	700	0,15	32,34	37843	551	-41,81	-41,66	-11,75	-11,79

Alma

CAPA	PESO Fibra	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,42	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,42	10754	183

Ala

CAPA	PESO Fibra	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	232,80	10754	183	156,91	157,68	3,703	3,685
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	233,57	10754	183	157,68	158,44	3,685	3,667
QUA Uni 200-90	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	234,33	29500	931	158,44	159,21	6,801	6,769
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	235,10	10754	183	159,21	159,98	3,650	3,632
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	235,87	10754	183	159,98	160,74	3,632	3,615

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.24

Longitudinal costado M1-M2 Presión = 35,5 kN/m²

Separacion refuerzos = 700 mm. Ancho base = 100 mm.
 Longitud sin soporte = 3600 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 4,66 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	PESO Fibra	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	232	0,75	0,37	9840	130	-114,33	-113,58	-2,50	-2,51
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,82	37843	551	-113,58	-113,43	-2,77	-2,77
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,97	10754	183	-113,43	-113,28	-3,24	-3,24
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,13	10754	183	-113,28	-113,13	-3,24	-3,25
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,28	9987	105	-113,13	-112,98	-2,01	-2,01
CORECELL A600			0,1		232	30,00	16,35	58	0,79	-112,98	-82,98	-2,60	-3,54
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,43	9987	105	-82,98	-82,82	-2,74	-2,74
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,58	10754	183	-82,82	-82,67	-4,44	-4,44
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,73	10754	183	-82,67	-82,52	-4,44	-4,45
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,88	37843	551	-82,52	-82,37	-3,81	-3,82
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,04	9987	105	-82,37	-82,22	-2,76	-2,76
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,19	10754	183	-82,22	-82,07	-4,47	-4,48
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,34	10754	183	-82,07	-81,91	-4,48	-4,49
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,49	37843	551	-81,91	-81,76	-3,84	-3,85

Alma

CAPA	PESO Fibra	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1000	0,7	0,03	2,54	200	0,77	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1000	0,7	0,03	2,54	200	0,77	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1000	0,7	0,03	2,54	200	0,77	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1000	0,7	0,03	2,54	200	0,77	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183

Ala

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	233,33	10754	183	118,91	120,44	2,619	2,585
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	234,87	10754	183	120,44	121,98	2,585	2,553
QUA Uni 200-90	0	0,6	0,01	2,54	100	0,00	235,64	29500	931	120,44	121,98	4,794	4,734
QUA Uni 200-45	1000	0,6	0,01	2,54	100	0,96	236,12	10754	183	121,40	122,93	2,565	2,533
QUA Uni 200-45	1000	0,6	0,01	2,54	100	0,96	237,07	10754	183	122,36	123,89	2,545	2,513

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.02

Longitudinal costado M2-A1 Presión = 35,5 kN/m²

Separacion refuerzos = 700 mm. Ancho base = 100 mm.
 Longitud sin soporte = 2440 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 7,6 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	232	0,75	0,37	9840	130	-105,45	-104,70	-3,95	-3,98
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,82	37843	551	-104,70	-104,55	-4,39	-4,39
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,97	10754	183	-104,55	-104,40	-5,14	-5,14
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,13	10754	183	-104,40	-104,24	-5,14	-5,15
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,28	9987	105	-104,24	-104,09	-3,18	-3,19
CORECELL A600				0,1	232	30,00	16,35	58	0,79	-104,09	-74,09	-4,13	-5,80
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,43	9987	105	-74,09	-73,94	-4,48	-4,49
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,58	10754	183	-73,94	-73,79	-7,26	-7,28
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,73	10754	183	-73,79	-73,64	-7,28	-7,29
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,88	37843	551	-73,64	-73,49	-6,24	-6,25
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,04	9987	105	-73,49	-73,33	-4,51	-4,52
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,19	10754	183	-73,33	-73,18	-7,32	-7,34
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,34	10754	183	-73,18	-73,03	-7,34	-7,35
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,49	37843	551	-73,03	-72,88	-6,29	-6,30

Alma

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183

Ala

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	233,33	10754	183	127,12	128,66	4,223	4,173
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	234,49	10754	183	127,89	129,42	4,198	4,148
QUA Uni 200-90	0	0,6	0,01	2,54	100	0,00	234,87	29500	931	127,89	129,42	7,786	7,694
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	235,25	10754	183	128,66	130,19	4,173	4,124
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	236,02	10754	183	129,42	130,96	4,148	4,100

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.24

Longitudinal costado A1-A2 Presión = 35,5 kN/m²

Separacion refuerzos = 700 mm. Ancho base = 100 mm.
 Longitud sin soporte = 2740 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 10,27 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	232	0,75	0,37	9840	130	-112,34	-111,59	-3,04	-3,06
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,82	37843	551	-111,59	-111,44	-3,37	-3,38
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,97	10754	183	-111,44	-111,29	-3,94	-3,95
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,13	10754	183	-111,29	-111,14	-3,95	-3,96
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,28	9987	105	-111,14	-110,99	-2,44	-2,45
CORECELL A600				0,1	232	30,00	16,35	58	0,79	-110,99	-80,99	-3,17	-4,34
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,43	9987	105	-80,99	-80,83	-3,35	-3,36
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,58	10754	183	-80,83	-80,68	-5,44	-5,45
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,73	10754	183	-80,68	-80,53	-5,45	-5,46
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,88	37843	551	-80,53	-80,38	-4,67	-4,68
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,04	9987	105	-80,38	-80,23	-3,38	-3,39
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,19	10754	183	-80,23	-80,08	-5,48	-5,49
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,34	10754	183	-80,08	-79,92	-5,49	-5,50
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,49	37843	551	-79,92	-79,77	-4,71	-4,72

Alma

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183

Ala

CAPA	PESO Fibra	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	233,33	10754	183	120,23	121,76	3,656	3,610
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	234,87	10754	183	121,76	123,30	3,610	3,565
QUA Uni 200-90	400	0,6	0,01	2,54	100	0,38	235,83	29500	931	122,15	123,68	6,674	6,592
QUA Uni 200-45	400	0,6	0,01	2,54	100	0,38	236,21	10754	183	122,53	124,06	3,588	3,543
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	236,79	10754	183	123,30	124,83	3,565	3,521

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.03

Longitudinal costado A2-M3 Presión = 35,5 kN/m²

Separacion refuerzos = 700 mm. Ancho base = 100 mm.
 Longitud sin soporte = 3100 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 13,19 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fibra	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	232	0,75	0,37	9840	130	-105,45	-104,70	-2,67	-2,69
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,82	37843	551	-104,70	-104,55	-2,97	-2,97
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,97	10754	183	-104,55	-104,40	-3,47	-3,48
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,13	10754	183	-104,40	-104,24	-3,48	-3,48
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,28	9987	105	-104,24	-104,09	-2,15	-2,15
CORECELL A600			0,1		232	30,00	16,35	58	0,79	-104,09	-74,09	-2,79	-3,92
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,43	9987	105	-74,09	-73,94	-3,03	-3,03
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,58	10754	183	-73,94	-73,79	-4,91	-4,92
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,73	10754	183	-73,79	-73,64	-4,92	-4,93
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,88	37843	551	-73,64	-73,49	-4,22	-4,23
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,04	9987	105	-73,49	-73,33	-3,05	-3,06
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,19	10754	183	-73,33	-73,18	-4,95	-4,96
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,34	10754	183	-73,18	-73,03	-4,96	-4,97
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,49	37843	551	-73,03	-72,88	-4,25	-4,26

Alma

CAPA	ESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	200	0,31	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183

Ala

CAPA	ESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	233,33	10754	183	127,12	128,66	2,855	2,821
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	234,49	10754	183	127,89	129,42	2,837	2,804
QUA Uni 200-90	0	0,6	0,01	2,54	100	0,00	234,87	29500	931	127,89	129,42	5,262	5,200
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	235,25	10754	183	128,66	130,19	2,821	2,787
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	236,02	10754	183	129,42	130,96	2,804	2,771

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1

Longitudinal costado M3-A3 Presión = 38 kN/m²

Separacion refuerzos = 700 mm. Ancho base = 100 mm.
 Longitud sin soporte = 4320 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 16,9 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	232	0,75	0,37	9840	130	-114,33	-113,58	-1,69	-1,70
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,82	37843	551	-113,58	-113,43	-1,88	-1,88
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,97	10754	183	-113,43	-113,28	-2,20	-2,20
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,13	10754	183	-113,28	-113,13	-2,20	-2,20
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,28	9987	105	-113,13	-112,98	-1,36	-1,36
CORECELL A600			0,1		232	30,00	16,35	58	0,79	-112,98	-82,98	-1,77	-2,40
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,43	9987	105	-82,98	-82,82	-1,86	-1,86
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,58	10754	183	-82,82	-82,67	-3,01	-3,01
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,73	10754	183	-82,67	-82,52	-3,01	-3,02
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,88	37843	551	-82,52	-82,37	-2,58	-2,59
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,04	9987	105	-82,37	-82,22	-1,87	-1,87
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,19	10754	183	-82,22	-82,07	-3,03	-3,04
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,34	10754	183	-82,07	-81,91	-3,04	-3,04
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,49	37843	551	-81,91	-81,76	-2,60	-2,61

Alma

CAPA	ESO Fib	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	200	1,24	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	200	1,24	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	200	1,24	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	200	1,24	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183

Ala

CAPA	ESO Fib	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	233,33	10754	183	118,24	119,77	2,108	2,081
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	234,87	10754	183	119,77	121,31	2,081	2,054
QUA Uni 200-90	0	0,6	0,01	2,54	100	0,00	235,64	29500	931	119,77	121,31	3,859	3,810
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	236,02	10754	183	120,54	122,07	2,067	2,041
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	236,79	10754	183	121,31	122,84	2,054	2,029

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.02

Longitudinal costado A3-M4 Presión = 40,9 kN/m²

Separacion refuerzos = 700 mm. Ancho base = 100 mm.
 Longitud sin soporte = 3630 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 20,89 m. Altura = 200 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fit	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fi
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	232	0,75	0,37	9840	130	-127,83	-127,08	-2,03	-2,04
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,82	37843	551	-127,08	-126,93	-2,25	-2,25
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	0,97	10754	183	-126,93	-126,78	-2,63	-2,63
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,13	10754	183	-126,78	-126,63	-2,63	-2,64
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	1,28	9987	105	-126,63	-126,48	-1,63	-1,63
CORECELL A600				0,1	232	30,00	16,35	58	0,79	-126,48	-96,48	-2,11	-2,77
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,43	9987	105	-96,48	-96,32	-2,14	-2,14
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,58	10754	183	-96,32	-96,17	-3,47	-3,47
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,73	10754	183	-96,17	-96,02	-3,47	-3,48
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	31,88	37843	551	-96,02	-95,87	-2,98	-2,98
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,04	9987	105	-95,87	-95,72	-2,15	-2,16
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,19	10754	183	-95,72	-95,57	-3,49	-3,49
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,34	10754	183	-95,57	-95,41	-3,49	-3,50
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	232	0,15	32,49	37843	551	-95,41	-95,26	-2,99	-3,00

Alma

CAPA	ESO Fit	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	200	1,24	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	200	1,24	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	200	1,24	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	200	1,24	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	200	0,62	132,57	10754	183

Ala

CAPA	ESO Fit	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	233,33	10754	183	104,74	106,27	3,188	3,142
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	234,87	10754	183	106,27	107,81	3,142	3,097
QUA Uni 200-90	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	236,40	29500	931	107,81	109,34	5,744	5,663
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	237,55	10754	183	108,57	110,11	3,075	3,032
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	238,32	10754	183	109,34	110,87	3,054	3,012

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.1

Anillo 1 (costado) Presión = 35,2 kN/m²

Separacion refuerzos =	2600 mm.	Ancho base =	150 mm.
Longitud sin soporte =	1780 mm.	Ancho ala =	100 mm.
Posicion longitud =	8,9 m.	Altura =	400 mm.

Plancha asociada

CAPA	ESO Fib	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fx	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	282	0,75	0,37	9840	130	-215,84	-215,09	-10,10	-10,13
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	0,82	37843	551	-215,09	-214,94	-11,17	-11,17
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	0,97	10754	183	-214,94	-214,79	-13,06	-13,07
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	1,13	10754	183	-214,79	-214,64	-13,07	-13,08
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	1,28	9987	105	-214,64	-214,49	-8,08	-8,09
CORECELL A600				0,1	282	30,00	16,35	58	0,79	-214,49	-184,49	-10,47	-12,18
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	31,43	9987	105	-184,49	-184,33	-9,40	-9,41
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	31,58	10754	183	-184,33	-184,18	-15,23	-15,24
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	31,73	10754	183	-184,18	-184,03	-15,24	-15,25
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	31,88	37843	551	-184,03	-183,88	-13,05	-13,06
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	32,04	9987	105	-183,88	-183,73	-9,43	-9,44
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	32,19	10754	183	-183,73	-183,58	-15,28	-15,29
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	32,34	10754	183	-183,58	-183,42	-15,29	-15,30
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	282	0,15	32,49	37843	551	-183,42	-183,27	-13,09	-13,10

Alma

CAPA	ESO Fib	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fx
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183

Ala

CAPA	ESO Fib	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fx	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	432,95	10754	183	233,33	234,09	8,246	8,219
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	433,72	10754	183	234,09	234,86	8,219	8,192
QUA Uni 200-90	0	0,6	0,01	2,54	100	0,00	434,10	29500	931	234,09	234,86	15,243	15,193
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	434,87	10754	183	235,63	236,39	8,166	8,139
QUA Uni 200-45	1600	0,6	0,01	2,54	100	1,53	436,40	10754	183	237,16	237,93	8,113	8,087

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.06

Anillo 2 (costado) Presión = 35,2 kN/m²

Separacion refuerzos =	2600 mm.	Ancho base =	110
Longitud sin soporte =	1780 mm.	Ancho ala =	100
Posicion longitud =	8,9 m.	Altura =	400

Plancha asociada

CAPA	ESO Fib	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	0,4	0,01	2,54	242	0,75	0,37	9840	130	-201,36	-200,62	-7,28	-7,31
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	0,82	37843	551	-200,62	-200,46	-8,05	-8,06
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	0,97	10754	183	-200,46	-200,31	-9,42	-9,42
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	1,13	10754	183	-200,31	-200,16	-9,42	-9,43
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	1,28	9987	105	-200,16	-200,01	-5,83	-5,83
CORECELL A600				0,1	242	30,00	16,35	58	0,79	-200,01	-170,01	-7,56	-8,89
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	31,43	9987	105	-170,01	-169,86	-6,86	-6,87
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	31,58	10754	183	-169,86	-169,71	-11,11	-11,12
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	31,73	10754	183	-169,71	-169,55	-11,12	-11,13
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	31,88	37843	551	-169,55	-169,40	-9,53	-9,54
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	32,04	9987	105	-169,40	-169,25	-6,89	-6,89
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	32,19	10754	183	-169,25	-169,10	-11,15	-11,16
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	32,34	10754	183	-169,10	-168,95	-11,16	-11,17
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	242	0,15	32,49	37843	551	-168,95	-168,80	-9,56	-9,57

Alma

CAPA	ESO Fib	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183

Ala

CAPA	ESO Fib	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	2400	0,6	0,01	2,54	100	2,30	433,72	10754	183	231,20	233,51	8,166	8,085
QUA Uni 200-45	400	0,6	0,01	2,54	100	0,38	435,06	10754	183	231,59	233,89	8,152	8,072
QUA Uni 200-90	0	0,6	0,01	2,54	100	0,00	435,25	29500	931	231,59	233,89	15,119	14,970
QUA Uni 200-45	400	0,6	0,01	2,54	100	0,38	435,44	10754	183	231,97	234,27	8,139	8,059
QUA Uni 200-45	800	0,6	0,01	2,54	100	0,77	436,02	10754	183	232,74	235,04	8,112	8,032

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.06

Anillo 3 (costado) Presión = 39 kN/m²

Separacion refuerzos = 4000 mm. Ancho base = 110 mm.
 Longitud sin soporte = 1780 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 8,9 m. Altura = 400 mm.

Plancha asociada

CAPA	PESO Fibr	ESO Tot	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200	450	1170	0,4	0,01	2,54	242	0,75	0,37	9840	130	-217,96	-217,21	-6,41	-6,43
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	242	0,15	0,82	37843	551	-217,21	-217,06	-7,09	-7,10
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	242	0,15	0,97	10754	183	-217,06	-216,91	-8,29	-8,30
QUA Uni 200-45	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	1,13	10754	183	-216,91	-216,75	-8,30	-8,30
QUA Uni 200-0	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	1,28	9987	105	-216,75	-216,60	-5,13	-5,13
CORECELL A600					0,1	242	30,00	16,35	58	0,79	-216,60	-186,60	-6,65	-7,72
QUA Uni 200-0	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	31,43	9987	105	-186,60	-186,45	-5,96	-5,96
QUA Uni 200-45	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	31,58	10754	183	-186,45	-186,30	-9,65	-9,66
QUA Uni 200-45	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	31,73	10754	183	-186,30	-186,15	-9,66	-9,67
QUA Uni 200-90	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	31,88	37843	551	-186,15	-186,00	-8,27	-8,28
QUA Uni 200-0	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	32,04	9987	105	-186,00	-185,84	-5,98	-5,98
QUA Uni 200-45	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	32,19	10754	183	-185,84	-185,69	-9,69	-9,69
QUA Uni 200-45	200		0,7	0,01	2,54	242	0,15	32,34	10754	183	-185,69	-185,54	-9,69	-9,70
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	242	0,15	32,49	37843	551	-185,54	-185,39	-8,30	-8,31

Alma

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	400	1,24	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	400	1,24	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	400	1,24	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	400	1,24	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	400	1,24	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	400	1,24	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	400	1,24	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,03	2,54	400	1,24	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,03	2,54	400	0,62	232,57	10754	183

Ala

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	2400	0,7	0,01	2,54	100	1,82	433,48	10754	183	215,79	217,61	8,148	8,080
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	100	1,21	434,99	10754	183	217,00	218,82	8,103	8,035
QUA Uni 200-90	0	0,7	0,01	2,54	100	0,00	435,60	29500	931	217,00	218,82	15,027	14,902
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	100	1,21	436,21	10754	183	218,22	220,04	8,058	7,991
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	100	1,21	437,42	10754	183	219,43	221,25	8,013	7,947

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.01

Calculo de las presiones de cubierta cubiertas y aéreas expuestas

Las presiones en cubierta vienen definidas por:



$$p_d = p (1 + 0.4 \cdot a_v)$$

Donde p es la presión de áreas expuestas y viene definida por:

- if $z_d \leq 2$:
 $p = 6,0 \text{ kN/m}^2$
- if $2 < z_d < 3$:
 $p = (12 - 3 z_d) \text{ kN/m}^2$
- if $z_d \geq 3$:
 $p = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Con lo que nuestra cubierta principal tendrá una presión de :

$$(12 - 3 \cdot 2.33) \cdot (1 + 0.4 \cdot 1.256) = 7.52 \text{ kN/m}^2$$

Y en la cubierta del fly :

$$3 \cdot (1 + 0.4 \cdot 1.256) = 5 \text{ kN/m}^2$$

Para laminar la cubierta, teniendo todos los paneles la misma presión y muy similares proporciones calcularemos una plancha y un refuerzo y laminaremos todo con las mismas características.

Panel cubierta

CSM 150+300	450	0.3	0.05	2.57	1.11	0.55	8681	120	977	1500	-10.20	-9.10	-	4.13	-4.626
QUA Uni 200-90	200	0.7	0.01	2.54	0.15	1.18	37843	551	11	286	-9.10	-8.95	-	4.87	-4.956
QUA Uni 200-45	200	0.7	0.01	2.54	0.15	1.33	10754	183	3	286	-8.95	-8.80	-	5.79	-5.892
QUA Uni 200-45	200	0.7	0.01	2.54	0.15	1.48	10754	183	3	286	-8.80	-8.64	-	5.89	-5.995
QUA Uni 200-0	200	0.7	0.01	2.54	0.15	1.64	9987	105	3	286	-8.64	-8.49	-	3.70	-3.770
CORECELL A600				0.117	25.00	14.21	83	1.40	108073	2913	-8.49	16.51	-	6.05	3.112
QUA Uni 200-0	200	0.7	0.01	2.54	0.15	26.79	9987	58	3	286	16.51	16.66	-	1.07	1.062
QUA Uni 200-45	200	0.7	0.01	2.54	0.15	26.94	10754	183	3	286	16.66	16.81	-	3.11	3.083
QUA Uni 200-45	200	0.7	0.01	2.54	0.15	27.09	10754	183	3	286	16.81	16.96	-	3.08	3.055
QUA Uni 200-90	200	0.7	0.01	2.54	0.15	27.24	37843	931	11	286	16.96	17.11	-	4.00	4.378

Refuerzo cubierta

Separacion refuerzos = 1000 mm. Ancho base = 110 mm.
 Longitud sin soporte = 3630 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 20,89 m. Altura = 100 mm.

Plancha asociada

CAPA	PESO Fibr	ESO Td	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	CS top fix	CS bott fix
CSM 200+150	450	1170	0,4	0,01	2,54	1000	0,75	0,37	9840	130	-29,80	-29,05	-4,13	-4,23
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	1000	0,15	0,82	37843	551	-29,05	-28,90	-4,66	-4,69
QUA Uni 200-45	200	460	0,7	0,01	2,54	1000	0,15	0,97	10754	183	-28,90	-28,74	-5,48	-5,51
QUA Uni 200-45	200		0,7	0,01	2,54	1000	0,15	1,13	10754	183	-28,74	-28,59	-5,51	-5,54
QUA Uni 200-0	200		0,7	0,01	2,54	1000	0,15	1,28	9987	105	-28,59	-28,44	-3,42	-3,44
CORECELL A600					0,1	1000	25,00	13,85	58	0,79	-28,44	-3,44	-4,46	-36,84
QUA Uni 200-0	200		0,7	0,01	2,54	1000	0,15	26,43	9987	105	-3,44	-3,29	-28,43	-29,74
QUA Uni 200-45	200		0,7	0,01	2,54	1000	0,15	26,58	10754	183	-3,29	-3,14	-48,14	-50,47
QUA Uni 200-45	200		0,7	0,01	2,54	1000	0,15	26,73	10754	183	-3,14	-2,99	-50,47	-53,03
QUA Uni 200-90	200	460	0,7	0,01	2,54	1000	0,15	26,88	37843	551	-2,99	-2,83	-45,38	-47,80

Alma

CAPA	PESO Fibr	ESO Td	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,03	2,54	100	0,31	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,03	2,54	100	0,31	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,03	2,54	100	0,31	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,03	2,54	100	0,31	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,03	2,54	100	0,62	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,03	2,54	100	0,62	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,03	2,54	100	0,62	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,03	2,54	100	0,62	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	800		0,7	0,03	2,54	100	0,62	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,03	2,54	100	0,31	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,03	2,54	100	0,31	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,03	2,54	100	0,31	76,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400		0,7	0,03	2,54	100	0,31	76,96	10754	183

Ala

CAPA	PESO Fibr	% fib.	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	100	1,21	127,57	10754	183	98,95	100,16	1,527	1,509
QUA Uni 200-45	800	0,7	0,01	2,54	100	0,61	128,48	10754	183	99,55	100,77	1,518	1,500
QUA Uni 200-90	0	0,7	0,01	2,54	100	0,00	128,78	29500	931	99,55	100,77	2,815	2,781
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	100	0,30	128,93	10754	183	99,86	101,07	1,513	1,495
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,01	2,54	100	0,30	129,24	10754	183	100,16	101,37	1,509	1,491

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.03

Panel Fly

capa	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS-UTS	E t*3/12	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	977	1500	-8,40	-7,29	-4,89	-5,634
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	11	286	-7,29	-7,14	-5,93	-6,061
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	3	286	-7,14	-6,99	-7,08	-7,237
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	3	286	-6,99	-6,84	-7,24	-7,398
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	3	286	-6,84	-6,68	-4,57	-4,674
CORECELL A600				0,117	20,00	11,71	83	1,40	55333	2330	-6,68	13,32	-7,50	3,764
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	21,79	9987	58	3	286	13,32	13,47	1,30	1,281
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	21,94	10754	183	3	286	13,47	13,62	3,75	3,713
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	22,09	10754	183	3	286	13,62	13,77	3,71	3,672
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	22,24	37843	931	11	286	13,77	13,92	4,00	5,251

Refuerzo Fly

Separacion refuerzos = 1000 mm. Ancho base = 110 mm.
 Longitud sin soporte = 3630 mm. Ancho ala = 100 mm.
 Posicion longitud = 20,89 m. Altura = 100 mm.

Plancha asociada

capa	PESO	% fib	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS-UTS	E t*3/12	PESO	Z1t	Z1b	C-S sup	C-S inf
CSM 150+300	450	0,3	0,05	2,57	1,11	0,55	8681	120	977	1500	- 8,40	-7,29	- 4,89	-5,634
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,18	37843	551	11	286	- 7,29	-7,14	- 5,93	-6,061
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,33	10754	183	3	286	- 7,14	-6,99	- 7,08	-7,237
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,48	10754	183	3	286	- 6,99	-6,84	- 7,24	-7,398
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,64	9987	105	3	286	- 6,84	-6,68	- 4,57	-4,674
CORECELL A600				0,117	20,00	11,71	83	1,40	55333	2330	- 6,68	13,32	- 7,50	3,764
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	21,79	9987	58	3	286	13,32	13,47	1,30	1,281
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	21,94	10754	183	3	286	13,47	13,62	3,75	3,713
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	22,09	10754	183	3	286	13,62	13,77	3,71	3,672
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	22,24	37843	931	11	286	13,77	13,92	4,00	5,251

Alma

CAPA	ESO Fib	% fib	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,03	2,54	100	0,15	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,03	2,54	100	0,15	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183
QUA Uni 200-45	400	0,7	0,03	2,54	100	0,31	71,96	10754	183

Ala

CAPA	ESO Fib	% fib	voids	DENS	w	ESP.	Z capa	Ex	Fxt-Fxc	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-45	1600	0,7	0,01	2,54	100	1,21	122,57	10754	183	100,83	102,04	1,445	1,428
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	100	0,15	123,25	10754	183	100,98	102,19	1,443	1,425
QUA Uni 200-90	0	0,7	0,01	2,54	100	0,00	123,33	29500	931	100,98	102,19	2,675	2,644
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	100	0,15	123,40	10754	183	101,13	102,34	1,440	1,423
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	100	0,15	123,55	10754	183	101,28	102,50	1,438	1,421

Factor de seguridad para esfuerzos cortantes = 1.06

Cálculo de los mamparos resistentes

Según el reglamento los mamparos resistentes deben soportar una presión equivalente a

$$p_{sd} = 9,81 \cdot h_3$$

Donde h_3 es el valor de dos tercios de la altura del mamparo.

Espajo de popa, M1 y M2 Presión = 15,3 kN/m²

Ancho panel = 2330 mm.
 Largo panel = 5300 mm.
 Altura mamparo = 2,33 m.

CAPA	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS-UTS	PESO	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,08	37843	551	286	-18,64	-18,49	2,59	-2,608
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,23	10754	183	286	-18,49	-18,34	3,05	-3,073
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,38	10754	183	286	-18,34	-18,19	3,07	-3,099
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,53	9987	105	286	-18,19	-18,03	1,91	-1,931
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,68	37843	551	286	-18,03	-17,88	2,67	-2,696
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,83	10754	183	286	-17,88	-17,73	3,15	-3,178
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,99	10754	183	286	-17,73	-17,58	3,18	-3,206
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,14	9987	105	286	-17,58	-17,43	1,98	-1,998
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,29	37843	551	286	-17,43	-17,28	2,77	-2,791
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,44	10754	183	286	-17,28	-17,12	3,26	-3,291
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,59	10754	183	286	-17,12	-16,97	3,29	-3,320
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,74	9987	105	286	-16,97	-16,82	2,05	-2,070
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,90	37843	551	286	-16,82	-16,67	2,87	-2,893
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,05	10754	183	286	-16,67	-16,52	3,38	-3,412
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,20	10754	183	286	-16,52	-16,37	3,41	-3,443
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,35	9987	105	286	-16,37	-16,21	2,13	-2,147
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,50	37843	551	286	-16,21	-16,06	2,97	-3,002
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,65	10754	183	286	-16,06	-15,91	3,51	-3,542
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,81	10754	183	286	-15,91	-15,76	3,54	-3,576
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,96	9987	105	286	-15,76	-15,61	2,21	-2,231
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	3,11	37843	551	286	-15,61	-15,46	3,09	-3,120
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	3,26	10754	183	286	-15,46	-15,30	3,65	-3,682
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	3,41	10754	183	286	-15,30	-15,15	3,68	-3,719
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	3,56	9987	105	286	-15,15	-15,00	2,30	-2,321
CORECELL T400				0,07	30,00	18,64	66	0,79	2100	-15,00	15,00	2,65	2,646
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,72	9987	58	286	15,00	15,15	1,28	1,269
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,87	10754	183	286	15,15	15,30	3,72	3,682
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,02	10754	183	286	15,30	15,46	3,68	3,646
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,17	37843	931	286	15,46	15,61	5,27	5,220
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,32	9987	58	286	15,61	15,76	1,23	1,220
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,47	10754	183	286	15,76	15,91	3,58	3,542
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,63	10754	183	286	15,91	16,06	3,54	3,508
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,78	37843	931	286	16,06	16,21	5,07	5,025
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,93	9987	58	286	16,21	16,37	1,19	1,175
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,08	10754	183	286	16,37	16,52	3,44	3,412
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,23	10754	183	286	16,52	16,67	3,41	3,381
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,38	37843	931	286	16,67	16,82	4,89	4,843
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,54	9987	58	286	16,82	16,97	1,14	1,133
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,69	10754	183	286	16,97	17,12	3,32	3,291
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,84	10754	183	286	17,12	17,28	3,29	3,262
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,99	37843	931	286	17,28	17,43	4,72	4,675
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,14	9987	58	286	17,43	17,58	1,10	1,094
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,29	10754	183	286	17,58	17,73	3,21	3,178
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,45	10754	183	286	17,73	17,88	3,18	3,151
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,60	37843	931	286	17,88	18,03	4,56	4,517
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,75	9987	58	286	18,03	18,19	1,07	1,058
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,90	10754	183	286	18,19	18,34	3,10	3,073
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	37,05	10754	183	286	18,34	18,49	3,07	3,048
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	37,21	37843	931	286	18,49	18,64	4,41	4,370

Mamparo M3

Presión = 14,7 kN/m²

Ancho panel = 2250 mm.

Largo panel = 5300 mm.

Altura mamparo = 2,25 m.

CAPA	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP.	Z capa	E 1	UCS-UT ₃	Et	Etz	Etz ²	E ³ /12	PESO	Z1t	Z1b	C-S top	C-S botto
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,08	37843	551	5740	435	33	11	286	- 18,64	-18,49	- 2,87	-2,894
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,23	10754	183	1631	371	84	3	286	- 18,49	-18,34	- 3,38	-3,410
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,38	10754	183	1631	619	235	3	286	- 18,34	-18,19	- 3,41	-3,438
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,53	9987	105	1515	804	427	3	286	- 18,19	-18,03	- 2,12	-2,142
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,68	37843	551	5740	3918	2675	11	286	- 18,03	-17,88	- 2,97	-2,992
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,83	10754	183	1631	1361	1135	3	286	- 17,88	-17,73	- 3,50	-3,526
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,99	10754	183	1631	1608	1586	3	286	- 17,73	-17,58	- 3,53	-3,557
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,14	9987	105	1515	1723	1961	3	286	- 17,58	-17,43	- 2,20	-2,217
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,29	37843	551	5740	7401	9542	11	286	- 17,43	-17,28	- 3,07	-3,097
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,44	10754	183	1631	2351	3387	3	286	- 17,28	-17,12	- 3,62	-3,651
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,59	10754	183	1631	2598	4138	3	286	- 17,12	-16,97	- 3,65	-3,684
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,74	9987	105	1515	2643	4610	3	286	- 16,97	-16,82	- 2,28	-2,297
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,90	37843	551	5740	10884	20637	11	286	- 16,82	-16,67	- 3,18	-3,209
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,05	10754	183	1631	3340	6840	3	286	- 16,67	-16,52	- 3,75	-3,785
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,20	10754	183	1631	3588	7891	3	286	- 16,52	-16,37	- 3,79	-3,821
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,35	9987	105	1515	3562	8374	3	286	- 16,37	-16,21	- 2,36	-2,383
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,50	37843	551	5740	14367	35957	11	286	- 16,21	-16,06	- 3,30	-3,331
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,65	10754	183	1631	4330	11494	3	286	- 16,06	-15,91	- 3,89	-3,930
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,81	10754	183	1631	4578	12845	3	286	- 15,91	-15,76	- 3,93	-3,968
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,96	9987	105	1515	4481	13254	3	286	- 15,76	-15,61	- 2,45	-2,475
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	3,11	37843	551	5740	17850	55504	11	286	- 15,61	-15,46	- 3,43	-3,461
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	3,26	10754	183	1631	5320	17349	3	286	- 15,46	-15,30	- 4,05	-4,086
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	3,41	10754	183	1631	5567	19001	3	286	- 15,30	-15,15	- 4,09	-4,127
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	3,56	9987	105	1515	5400	19249	3	286	- 15,15	-15,00	- 2,55	-2,575
CORECELL T400				0,07	30,00	18,64	66	0,79	1980	36908	687984	148500	2100	15,00	15,00	- 2,94	2,936
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,72	9987	58	1515	51076	1722103	3	286	15,00	15,15	1,42	1,408
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,87	10754	183	1631	55246	1871083	3	286	15,15	15,30	4,13	4,086
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,02	10754	183	1631	55494	1887880	3	286	15,30	15,46	4,09	4,046
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,17	37843	931	5740	196152	6702769	11	286	15,46	15,61	5,85	5,792
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,32	9987	58	1515	51995	1784641	3	286	15,61	15,76	1,37	1,354
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,47	10754	183	1631	56236	1938724	3	286	15,76	15,91	3,97	3,930
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,63	10754	183	1631	56484	1955822	3	286	15,91	16,06	3,93	3,893
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,78	37843	931	5740	199635	6942909	11	286	16,06	16,21	5,63	5,575
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,93	9987	58	1515	52915	1848294	3	286	16,21	16,37	1,32	1,304
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,08	10754	183	1631	57226	2007566	3	286	16,37	16,52	3,82	3,785
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,23	10754	183	1631	57473	2024964	3	286	16,52	16,67	3,79	3,751
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,38	37843	931	5740	203117	7187276	11	286	16,67	16,82	5,42	5,374
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,54	9987	58	1515	53834	1913063	3	286	16,82	16,97	1,27	1,257
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,69	10754	183	1631	58216	2077609	3	286	16,97	17,12	3,68	3,651
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,84	10754	183	1631	58463	2095308	3	286	17,12	17,28	3,65	3,619
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,99	37843	931	5740	206600	7435869	11	286	17,28	17,43	5,23	5,187
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,14	9987	58	1515	54753	1978947	3	286	17,43	17,58	1,22	1,214
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,29	10754	183	1631	59205	2148853	3	286	17,58	17,73	3,56	3,526
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,45	10754	183	1631	59453	2166852	3	286	17,73	17,88	3,53	3,496
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,60	37843	931	5740	210083	7688688	11	286	17,88	18,03	5,05	5,012
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,75	9987	58	1515	55672	2045946	3	286	18,03	18,19	1,18	1,173
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	36,90	10754	183	1631	60195	2221299	3	286	18,19	18,34	3,44	3,410
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	37,05	10754	183	1631	60442	2239598	3	286	18,34	18,49	3,41	3,382
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	37,21	37843	931	5740	213566	7945734	11	286	18,49	18,64	4,89	4,849

Mamparo 4 M4

Presión = 14,8 kN/m²

Ancho panel = 2260 mm.
 Largo panel = 3000 mm.
 Altura mamparo = 2,26 m.

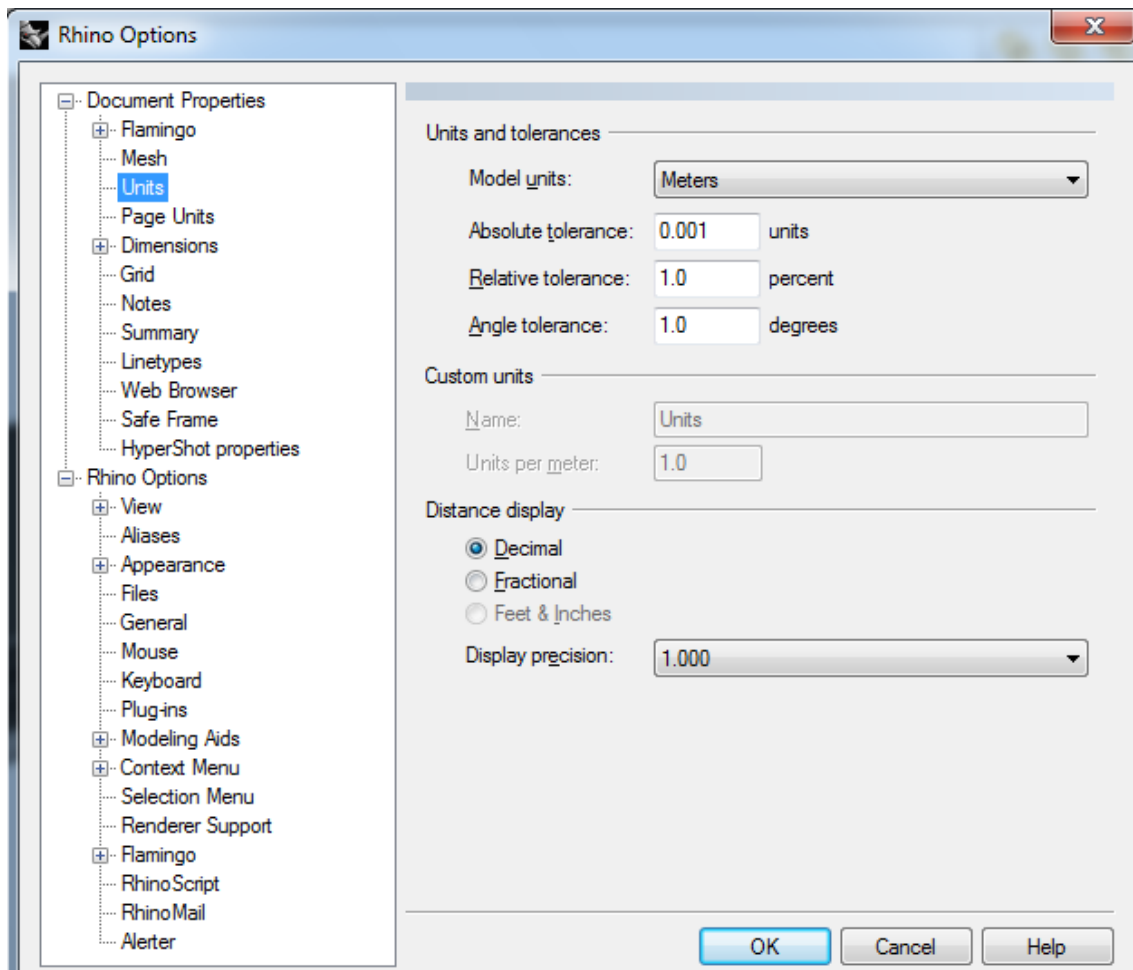
CAPA	PESO	% fib.	voids	DENS	ESP	Z capa	E 1	UCS	E t	E t z	E t z*2	E t*3/12	PESO	Z1t	Z1b	C-S top	C-S bottom
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,08	37843	551	5740	435	33	11	286	-18,03	-17,88	2,61	-2,633
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,23	10754	183	1631	371	84	3	286	-17,88	-17,73	3,08	-3,104
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,38	10754	183	1631	619	235	3	286	-17,73	-17,58	3,10	-3,130
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,53	9987	105	1515	804	427	3	286	-17,58	-17,43	1,93	-1,951
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,68	37843	551	5740	3918	2675	11	286	-17,43	-17,28	2,70	-2,726
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,83	10754	183	1631	1361	1135	3	286	-17,28	-17,12	3,19	-3,214
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	0,99	10754	183	1631	1608	1586	3	286	-17,12	-16,97	3,21	-3,242
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,14	9987	105	1515	1723	1961	3	286	-16,97	-16,82	2,00	-2,021
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,29	37843	551	5740	7401	9542	11	286	-16,82	-16,67	2,80	-2,825
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,44	10754	183	1631	2351	3387	3	286	-16,67	-16,52	3,30	-3,332
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,59	10754	183	1631	2598	4138	3	286	-16,52	-16,37	3,33	-3,363
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,74	9987	105	1515	2643	4610	3	286	-16,37	-16,21	2,08	-2,097
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	1,90	37843	551	5740	10884	20637	11	286	-16,21	-16,06	2,90	-2,931
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,05	10754	183	1631	3340	6840	3	286	-16,06	-15,91	3,43	-3,459
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,20	10754	183	1631	3588	7891	3	286	-15,91	-15,76	3,46	-3,492
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,35	9987	105	1515	3562	8374	3	286	-15,76	-15,61	2,16	-2,178
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,50	37843	551	5740	14367	35957	11	286	-15,61	-15,46	3,02	-3,047
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,65	10754	183	1631	4330	11494	3	286	-15,46	-15,30	3,56	-3,596
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,81	10754	183	1631	4578	12845	3	286	-15,30	-15,15	3,60	-3,632
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	2,96	9987	105	1515	4481	13254	3	286	-15,15	-15,00	2,24	-2,267
CORECELL T400				0,07	30,00	18,03	66	0,79	1980	35707	643925	148500	2100	-15,00	15,00	2,58	2,584
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,11	9987	58	1515	50157	1660680	3	286	15,00	15,15	1,25	1,239
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,26	10754	183	1631	54257	1804643	3	286	15,15	15,30	3,63	3,596
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,41	10754	183	1631	54504	1821140	3	286	15,30	15,46	3,60	3,561
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,56	37843	931	5740	192669	6466855	11	286	15,46	15,61	5,15	5,098
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,72	9987	58	1515	51076	1722103	3	286	15,61	15,76	1,20	1,192
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	33,87	10754	183	1631	55246	1871083	3	286	15,76	15,91	3,49	3,459
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,02	10754	183	1631	55494	1887880	3	286	15,91	16,06	3,46	3,426
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,17	37843	931	5740	196152	6702769	11	286	16,06	16,21	4,95	4,907
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,32	9987	58	1515	51995	1784641	3	286	16,21	16,37	1,16	1,148
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,47	10754	183	1631	56236	1938724	3	286	16,37	16,52	3,36	3,332
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,63	10754	183	1631	56484	1955822	3	286	16,52	16,67	3,33	3,301
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,78	37843	931	5740	199635	6942909	11	286	16,67	16,82	4,77	4,730
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	34,93	9987	58	1515	52915	1848294	3	286	16,82	16,97	1,12	1,107
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,08	10754	183	1631	57226	2007566	3	286	16,97	17,12	3,24	3,214
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,23	10754	183	1631	57473	2024964	3	286	17,12	17,28	3,21	3,185
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,38	37843	931	5740	203117	7187276	11	286	17,28	17,43	4,61	4,565
QUA Uni 200-0	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,54	9987	58	1515	53834	1913063	3	286	17,43	17,58	1,08	1,068
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,69	10754	183	1631	58216	2077609	3	286	17,58	17,73	3,13	3,104
QUA Uni 200-45	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,84	10754	183	1631	58463	2095308	3	286	17,73	17,88	3,10	3,077
QUA Uni 200-90	200	0,7	0,01	2,54	0,15	35,99	37843	931	5740	206600	7435869	11	286	17,88	18,03	4,45	4,411



Modelización de los elementos estructurales

Tenemos calculadas las dimensiones y disposiciones de todos los elementos estructurales. En el primer paso modelizaremos los mamparos, ya que no van interrumpidos por ningún otro refuerzo al ser este un refuerzo considerado como primario. Hemos de crear todas las superficies de manera que estén conectadas entre ellas con una distancia inferior a la tolerancia que tengamos establecida en el programa.

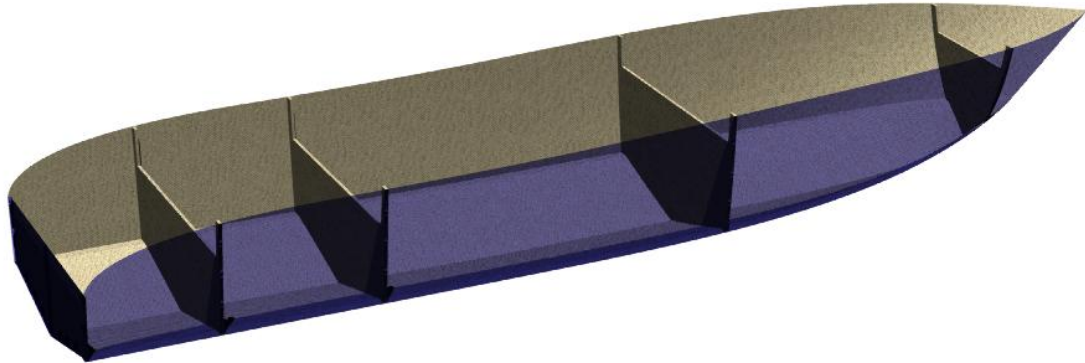
La tolerancia establecida depende en mayor parte del tamaño del objeto que estamos diseñando. Al estar tratando con un elemento de 26 metros en el que los objetos mas pequeños son refuerzos que rondan los 10 centímetros de tamaño mínimo, hemos establecido una tolerancia de 1 milímetro.



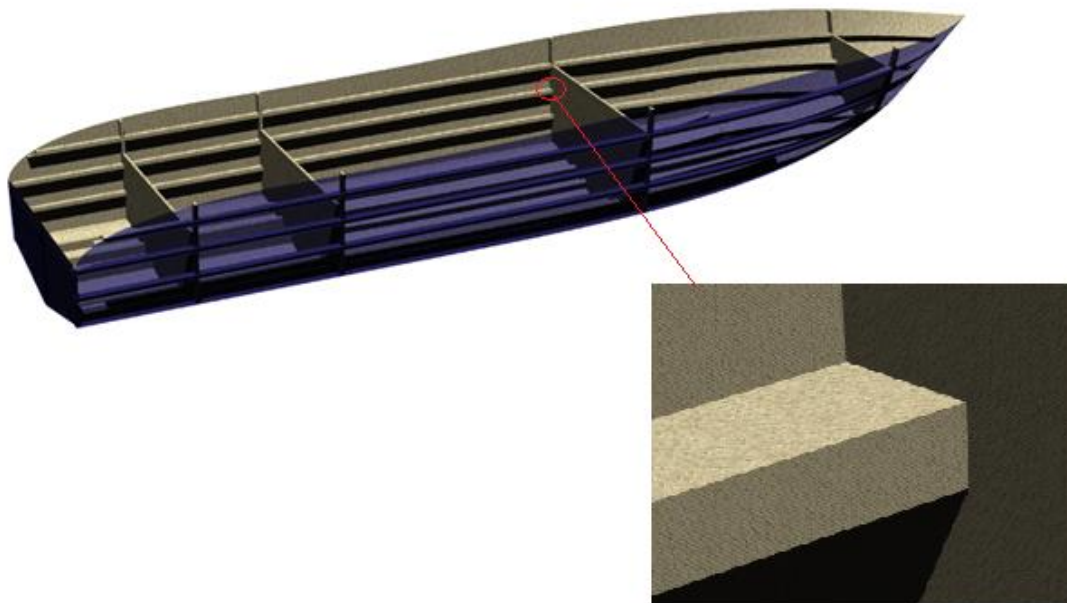
Conociendo las tolerancias podemos conectar la estructura con garantías.



Estructura del casco



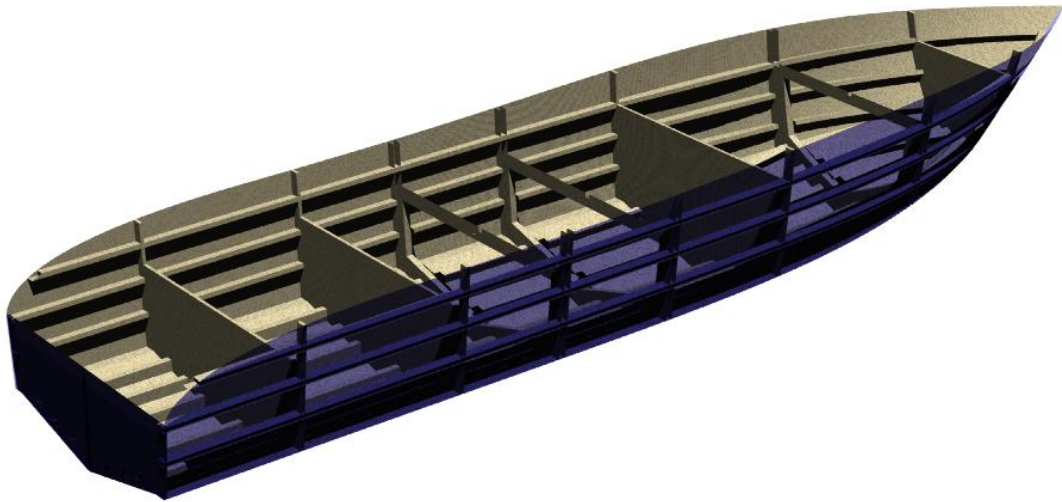
Teniendo modelizados los mamparos podemos modelizar los longitudinales de fondo y costado con su posición y dimensiones ya que van conectados a los primeros. Esta unión será de suma importancia para el cálculo de los elementos finitos.





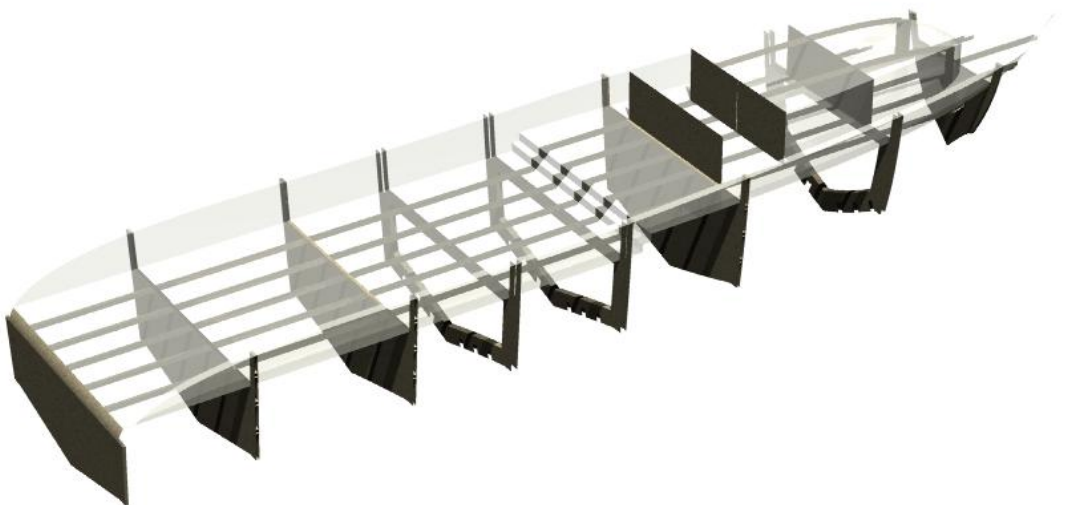
Después de los longitudinales podemos modelar los anillos, ya que los longitudinales irán unidos a estos, pero los atravesarán de manera continua.

Una vez efectuado este paso ya tenemos preparada una de las tres partes para analizarla mediante el método de los elementos finitos.



Estructura de cubierta

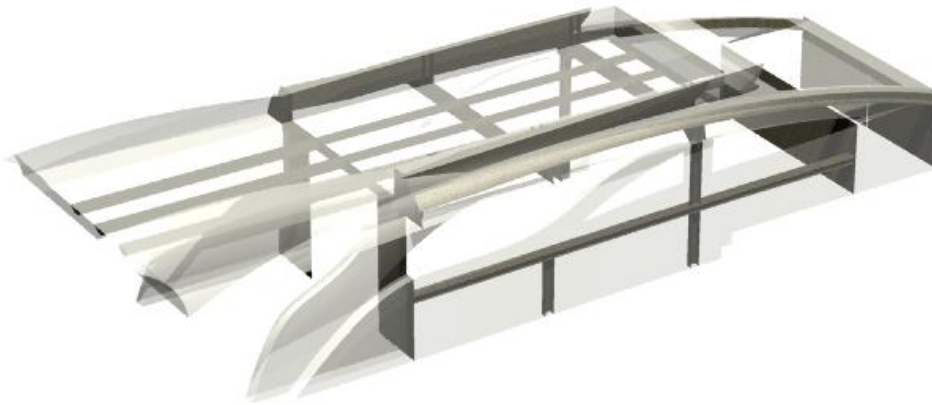
Al tener ya modelizados los mamparos y los anillos de refuerzo tan solo nos resta modelar los refuerzos longitudinales secundarios.





Estructura de Superestructura

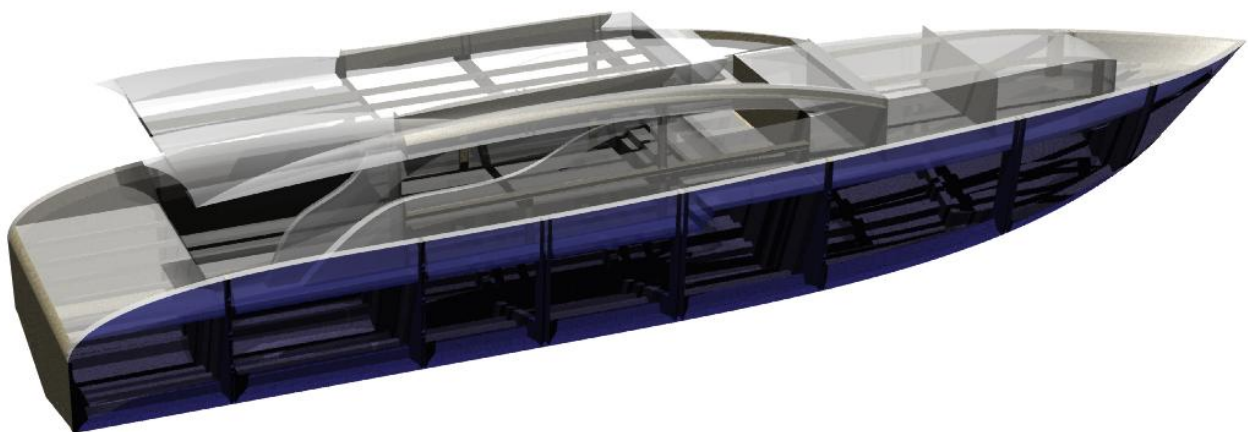
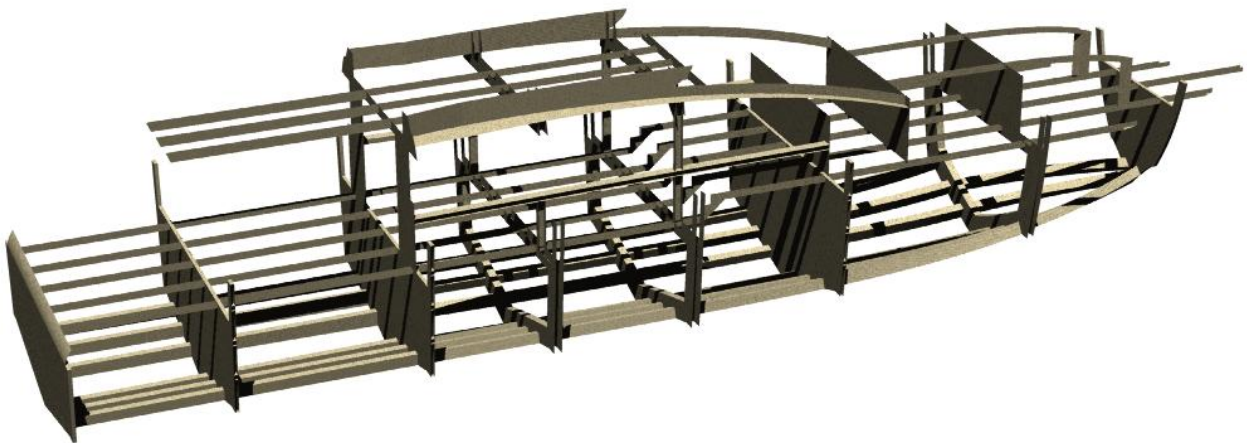
Las superestructuras actuales no permiten estructuras convencionales de refuerzos primarios y secundarios. Los refuerzos tienen formas irregulares que dejan obsoleto el cálculo clásico de planchas y refuerzos. Es posible realizarlo, pero seguramente obtendremos una estructura sobredimensionada. Para esta parte de los yates modernos en concreto, el análisis mediante elementos finitos se hace casi indispensable.



Con este paso, tenemos modelada toda la estructura del yate.



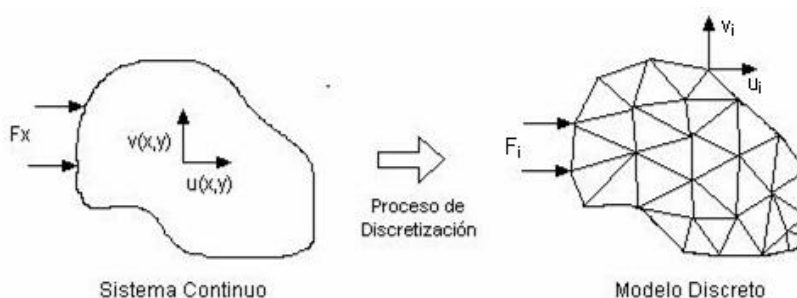
Estructura completa



Análisis mediante elementos finitos

Introducción

El MEF permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales que caracterizan el comportamiento físico del problema. Dividiéndolo en un número elevado de subdominios no intersectantes entre sí denominados «elementos finitos». El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama «mall».



Los cálculos se realizan sobre una mall» de puntos (llamados nodos), que sirven a su vez de base para discretización del dominio en elementos finitos. La generación de la mall» se realiza usualmente con programas especiales llamados generadores de mall», en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas). La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Típicamente el método de los elementos finitos se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la

facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). Además el método es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones (mecánica de fluidos computacional, CFD) o de campo electromagnético. Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, con frecuencia en la práctica ingenieril los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en la única alternativa práctica de cálculo.

Una importante propiedad del método es la convergencia; si se consideran particiones de elementos finitos sucesivamente más finas, la solución numérica calculada converge rápidamente hacia la solución exacta del sistema de ecuaciones.

Preproceso y generación de la malla (GID)

La malla se genera y ésta en general consta de miles (e incluso centenares de miles) de puntos. La información sobre las propiedades del material y otras características del problema se almacena junto con la información que describe la malla. Por otro lado las fuerzas, los flujos térmicos o las temperaturas se reasignan a los puntos de la malla. A los nodos de la malla se les asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de la tensión mecánica u otra propiedad. Las regiones que recibirán gran cantidad de tensión tienen normalmente una mayor densidad de nodos (densidad de malla) que aquellos que experimentan poco o ninguno. Puntos de interés consisten en: puntos de fractura previamente probados del material, entrantes, esquinas, detalles complejos, y áreas de elevada tensión. La malla actúa como la red de una araña en la que desde cada nodo se extiende un elemento de malla a cada nodo adyacente. Este tipo de red vectorial es la que lleva las propiedades del material al objeto, creando varios elementos.

Las tareas asignadas al preproceso son:

- El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias en un número de elementos finitos. Esta parte del proceso se desarrolla habitualmente mediante algoritmos incorporados a programas informáticos de mallado durante la etapa de preproceso.
- Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos o “nodos”, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal y como ocurre en el análisis simple de estructuras por el método matricial.
- Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada “elemento finito” en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento. Por ejemplo el campo de desplazamientos dentro de un elemento lineal de dos nodos podría venir definido por: $u = N_1 u_1 + N_2 u_2$, siendo N_1 y N_2 las funciones comentadas (funciones de forma) y u_1 y u_2 los desplazamientos en el nodo 1 y en el nodo 2.
- Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas

deformaciones, junto con las propiedades constitutivas del material, definirán a su vez el estado de tensiones en todo el elemento, y por consiguiente en sus contornos.

- Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma $F = k \cdot u$, que como vemos es similar a la del cálculo matricial.

Cálculo y resolución de sistemas de ecuaciones (Ramseries)

En un problema mecánico lineal no-dependientes del tiempo, como un problema de análisis estructural estático o un problema elástico, el cálculo generalmente se reduce a obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.

Cuando el problema es no-lineal en general la aplicación de las fuerzas requiere la aplicación incremental de las fuerzas y considerar incrementos numéricos, y calcular en cada incremento algunas magnitudes referidas a los nodos. Algo similar sucede con los problemas dependientes del tiempo, para los que se considera una sucesión de instantes, en general bastante cercanos en el tiempo, y se considera el equilibrio instantáneo en cada instante. En general estos dos últimos tipos de problemas requieren un tiempo de cálculo sustancialmente más elevado que en un problema estacionario y lineal.

Postproceso (Ramseries)

Actualmente, el MEF es usado para calcular problemas tan complejos, que los ficheros que se generan como resultado del MEF tienen tal cantidad de datos que resulta conveniente procesarlos de alguna manera adicional para hacerlos más comprensible e ilustrar diferentes aspectos del problema. En la etapa de post-proceso los resultados obtenidos de la resolución del sistema son tratados, para obtener representaciones gráficas y obtener magnitudes derivadas, que permitan extraer conclusiones del problema.

El post-proceso del MEF generalmente requiere software adicional para organizar los datos de salida, de tal manera que sea más fácilmente comprensible el resultado y permita decidir si ciertas consecuencias del problema son o no aceptables. En el cálculo de estructuras por ejemplo, el post-proceso puede incluir comprobaciones adicionales de si una estructura cumple los requisitos de las normas pertinentes, calculando si se sobrepasan tensiones admisibles, o existe la posibilidad de pandeo en la estructura.

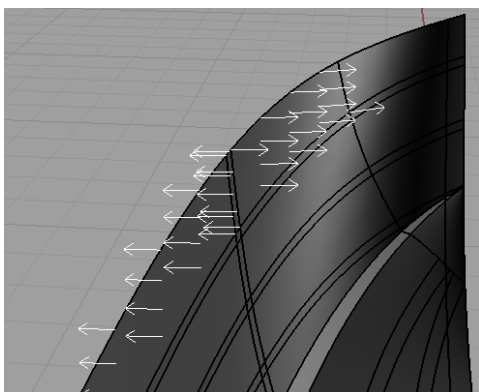


Cálculo de la estructura del casco

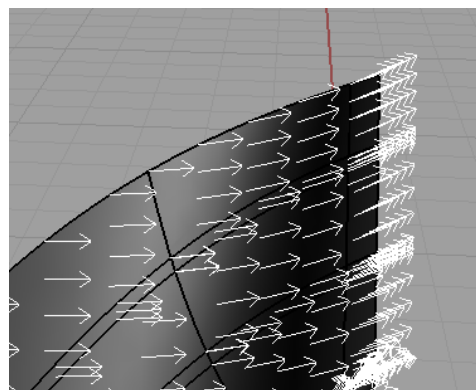
La primera parte que analizaremos es el casco del yate. Para tener una estructura analizable, hemos de comprobar que toda la estructura esta convenientemente unida y no quedan superficies sin conectar.

Una vez hecha esta comprobación pasaremos a estudiar las normales de las superficies. Estas normales han de tener concordancia para que el laminado de las superficies se efectúe para un mismo sentido en todas las planchas. Pondremos todas las normales de las superficies en la dirección que crecerá el laminado.

Normalmente cada superficie tiene una dirección propia según haya sido construida, pero tenemos la opción de realizar un “swap”, que cambia la dirección de la misma.



Incorrecto



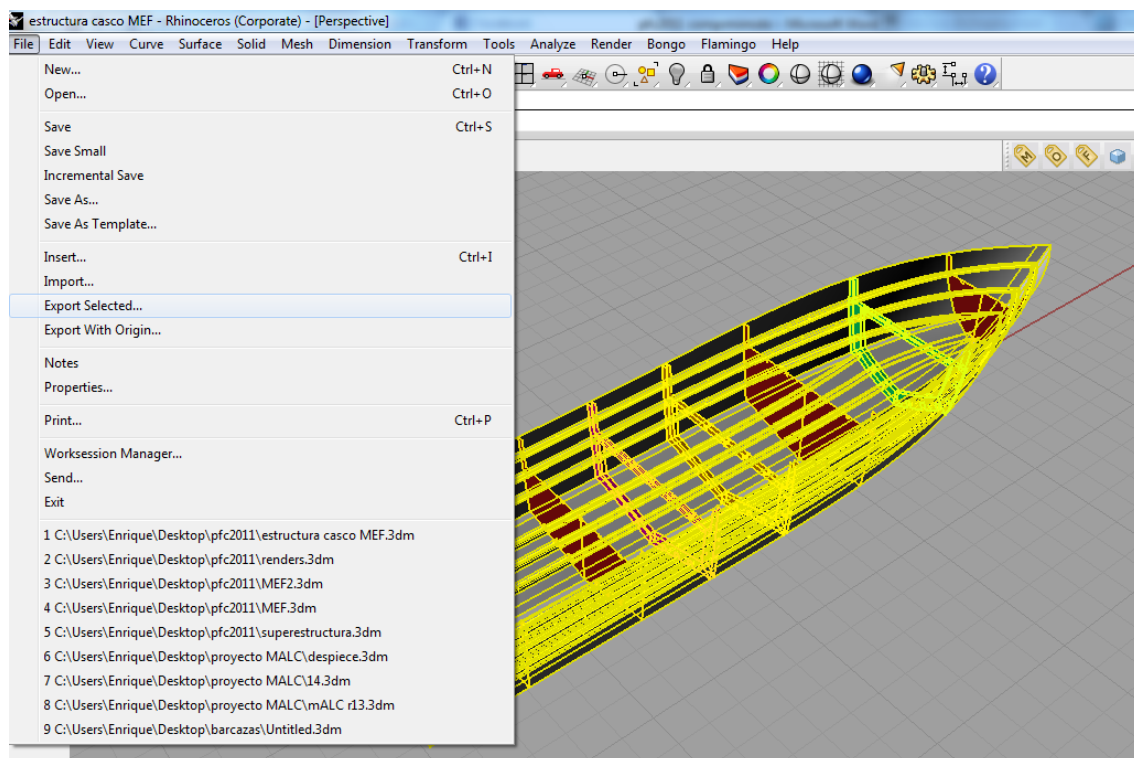
Correcto

Este procedimiento se puede llevar a cabo en cualquiera de los dos programas que vamos a utilizar, tienen una interface diferente, por lo que lo podemos hacer en el que nos resulte mas cómodo.

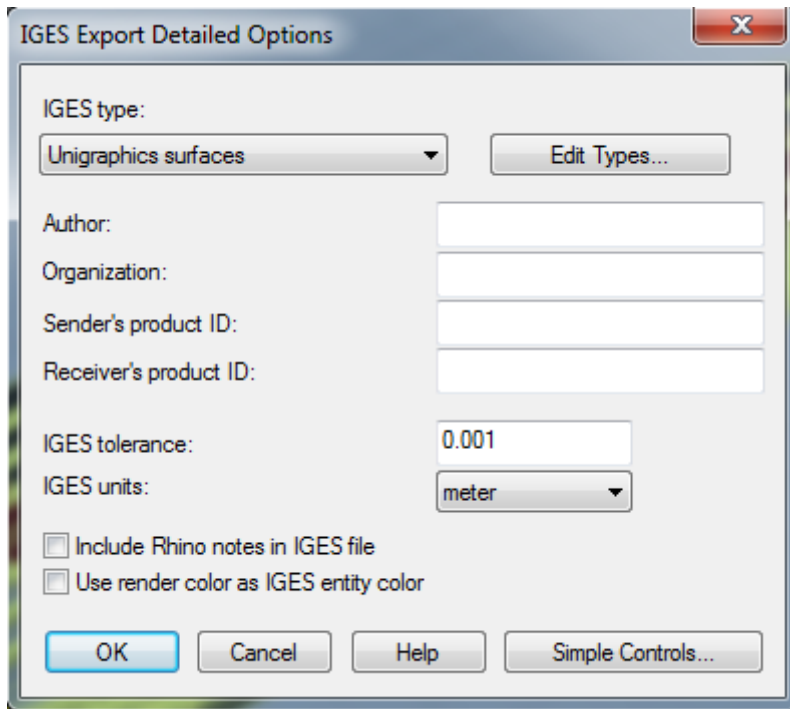
Al modelizar la capa exterior del casco, obviamente las telas incrementarán el espesor por la parte interior. En este caso orientaremos todas las normales hacia el interior del yate.

Una vez comprobada hemos de exportarla en formato .IGES. Estas siglas son la especificación para intercambio inicial de gráficos (Initial Graphics Exchange Specification) define un formato neutral de datos que permite el intercambio digital de información entre sistemas de diseño asistido por computadora CAD.

Seleccionamos todas las superficies que queramos exportar y seleccionamos exportar como...

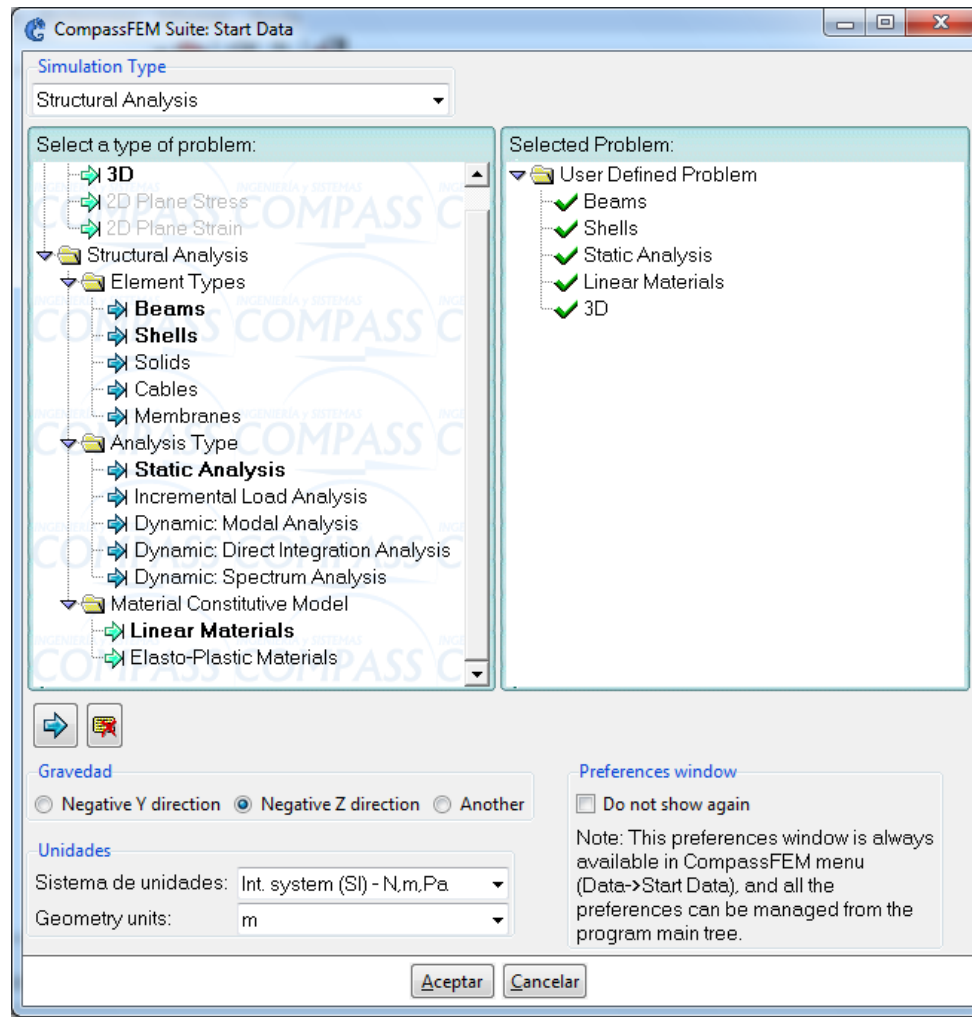


Seleccionamos el tipo de archivo .iges y elegimos las siguientes opciones:



Nota: La tolerancia ha de ser la misma con la que se ha efectuado el modelo

Abrimos el programa RamSeries de compassis. En la ventana de opciones del programa seleccionamos:



Estamos especificando las características del problema que vamos a resolver.

Structural type problem: Se trata de un problema en un campo de 3 dimensiones, **3D**.

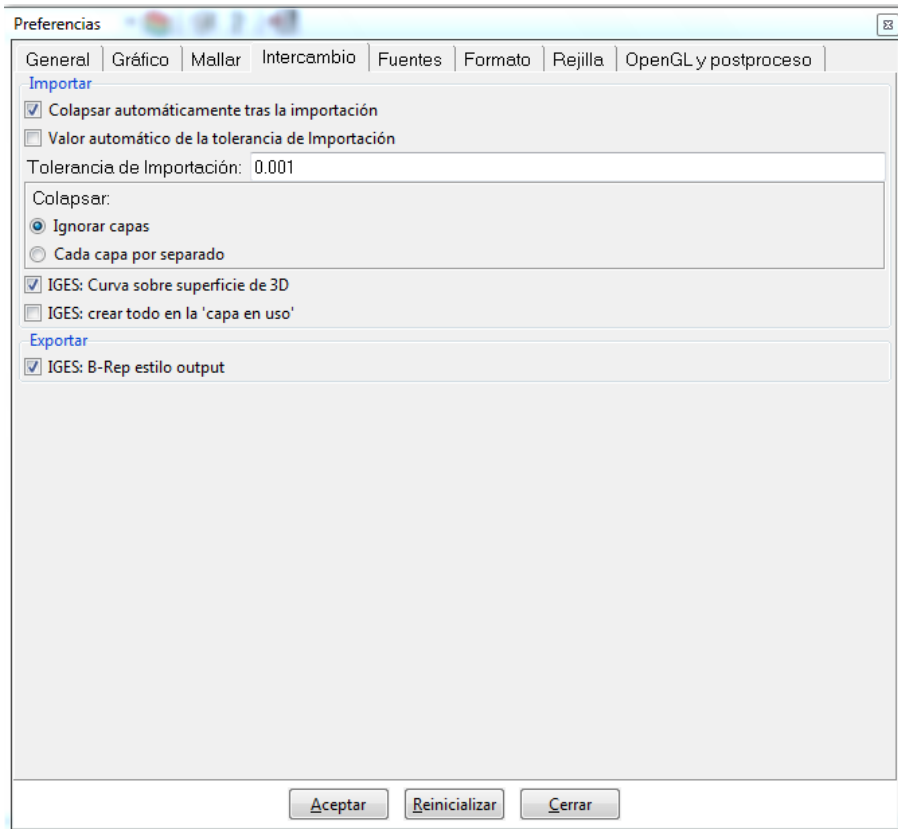
Element types: **Beams & shells**, ya que utilizaremos alambres y superficies.

Analysis type: **Static Analysis**, ya que no está en movimiento.

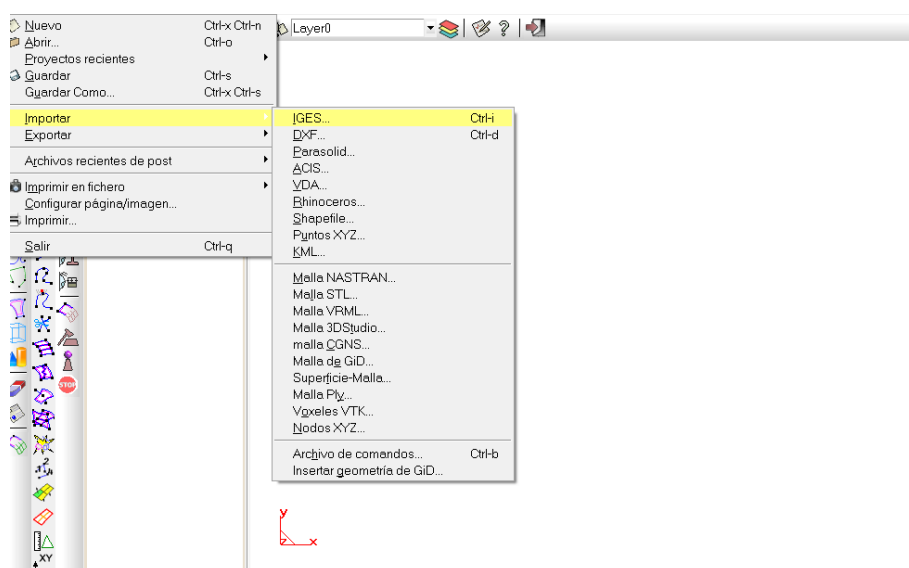
Material constitutive model: **Linear materials**, supondremos materiales sin comportamiento elastoplástico.

La geometría que importaremos está construida en metros, por lo que serán las unidades seleccionadas.

Antes de importar la geometría entramos en Utilidades > Preferencias> Intercambio

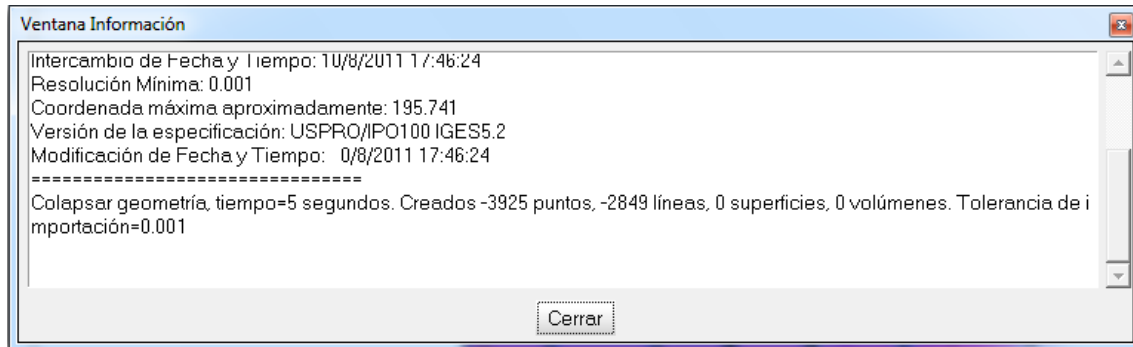


Damos a Tolerancia de importación el valor con el que hemos trabajado modelando la superficie, de tal manera que no tengamos problemas de compatibilidad e importamos el IGES.






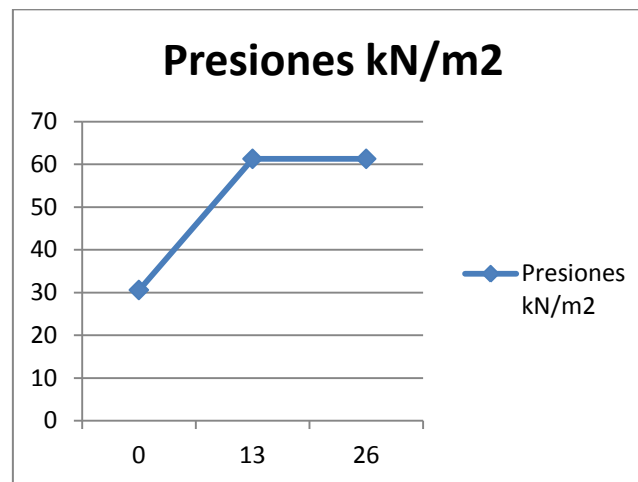
Cada límite de superficie y vértice de la misma se consideran una línea y un punto, por lo que existen en el modelo varias aristas y puntos coincidentes. Al importar el archivo el programa colapsa estas geometrías con la tolerancia definida, de esta manera las superficies quedarán consolidadas en contacto.



El programa ha eliminado 3925 puntos y 2849 líneas de manera que los elementos que eran coincidentes ahora son únicos.

Presiones

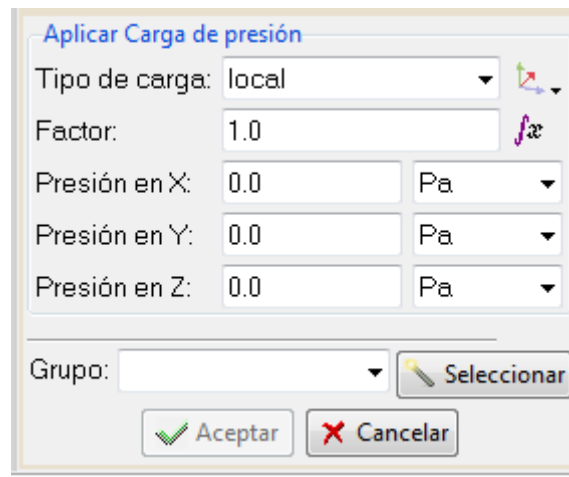
En primer lugar colocaremos las cargas a las que estará sometida la estructura, estas serán las que solicita el reglamento según el punto de la eslora. 



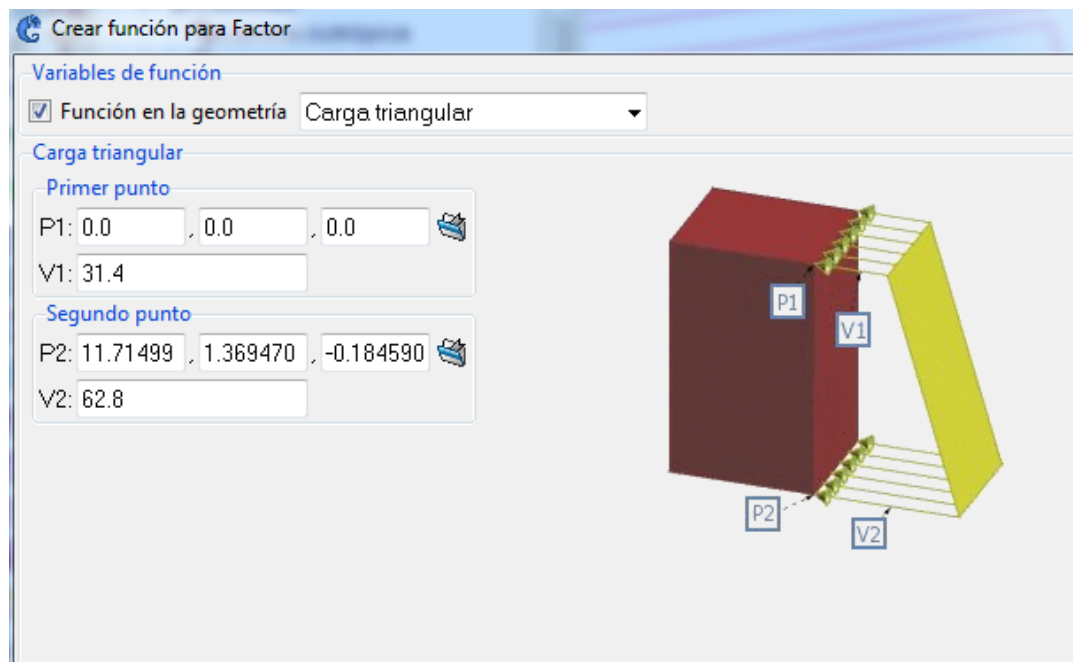
Entraremos en el menú de datos y seleccionamos aplicar las cargas de presión en láminas



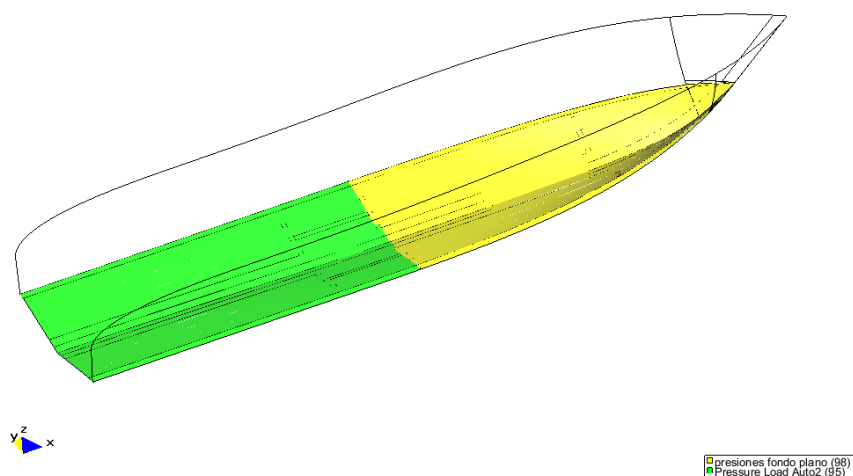
Aplicaremos una carga en el eje **local Z** de las planchas seleccionadas

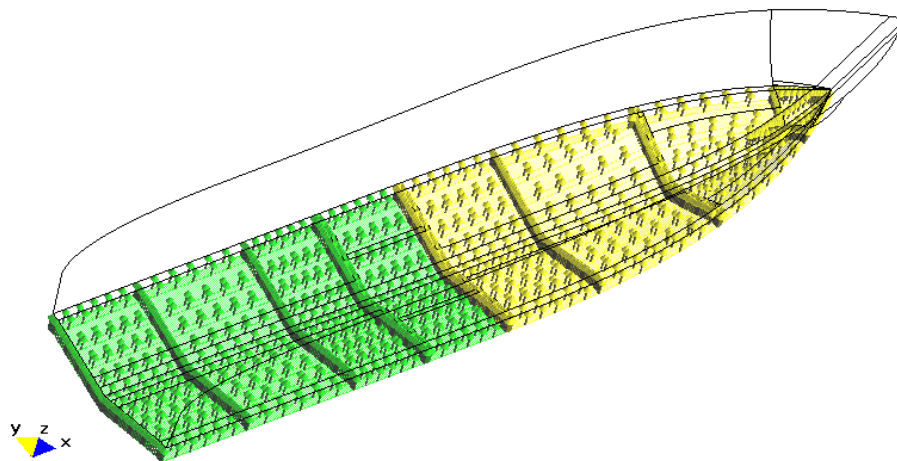


Hasta mitad de la eslora la carga será triangular, por lo que:

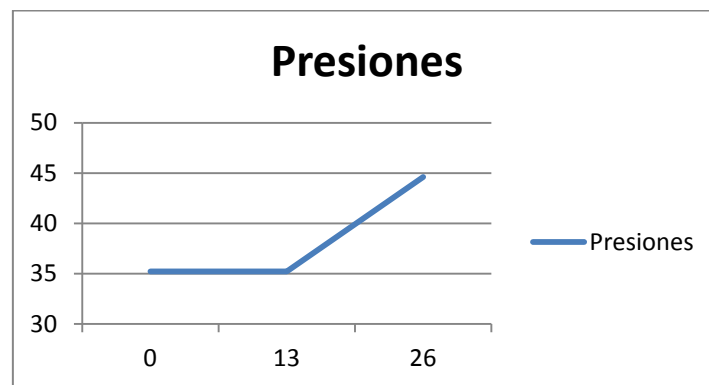


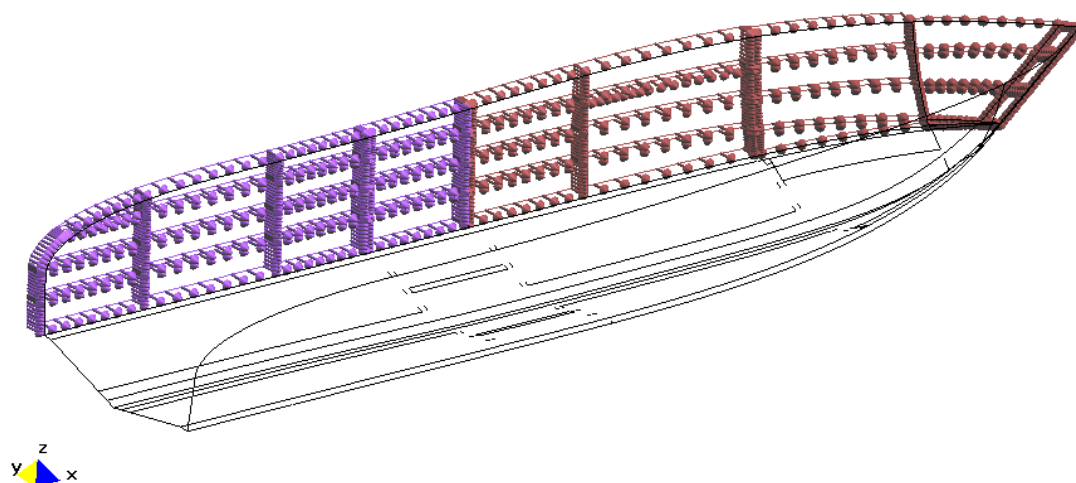
El resto lo consideraremos contínuo :



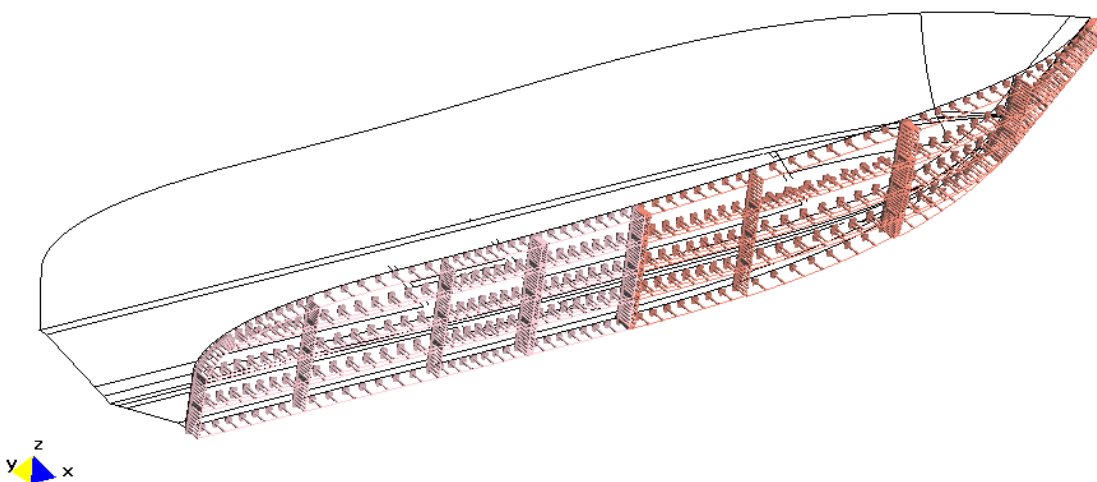


Procedemos de la misma manera para las presiones de costado





CARGAS DE BABOR

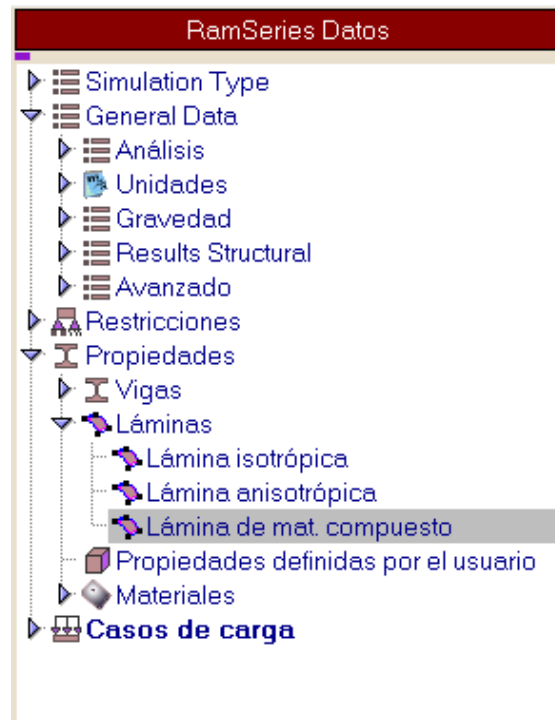


CARGAS DE ESTIBOR


Materiales

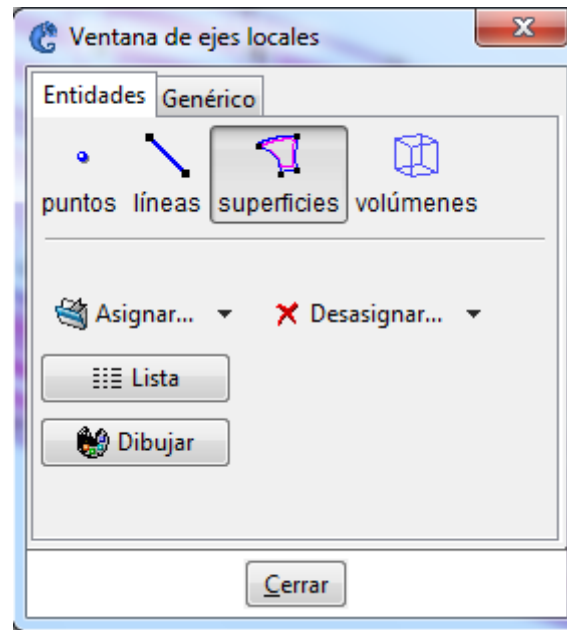
Una vez aplicadas las cargas en el espacio, definimos los materiales. 

Para aplicar materiales compuestos se trabaja en el menú:

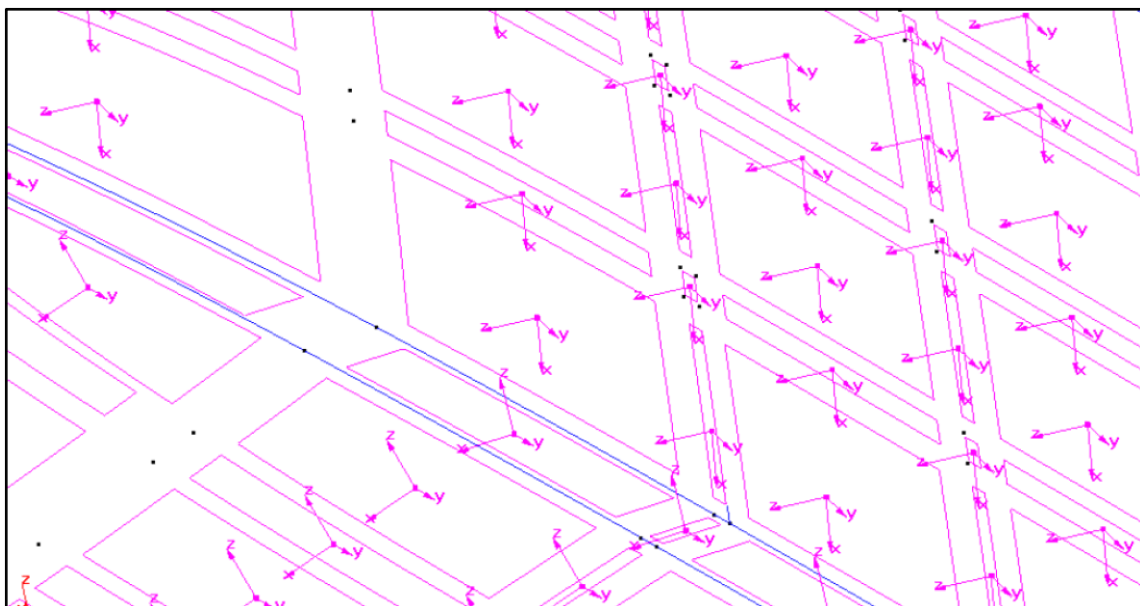


En este punto es muy importante conocer los ejes locales de las superficies. Los laminados que hemos seleccionado tienen diferentes direcciones, por lo que si no tenemos bien definidas las direcciones que tomarán cuando sean calculadas por el programa estaremos realizando un cálculo erróneo.

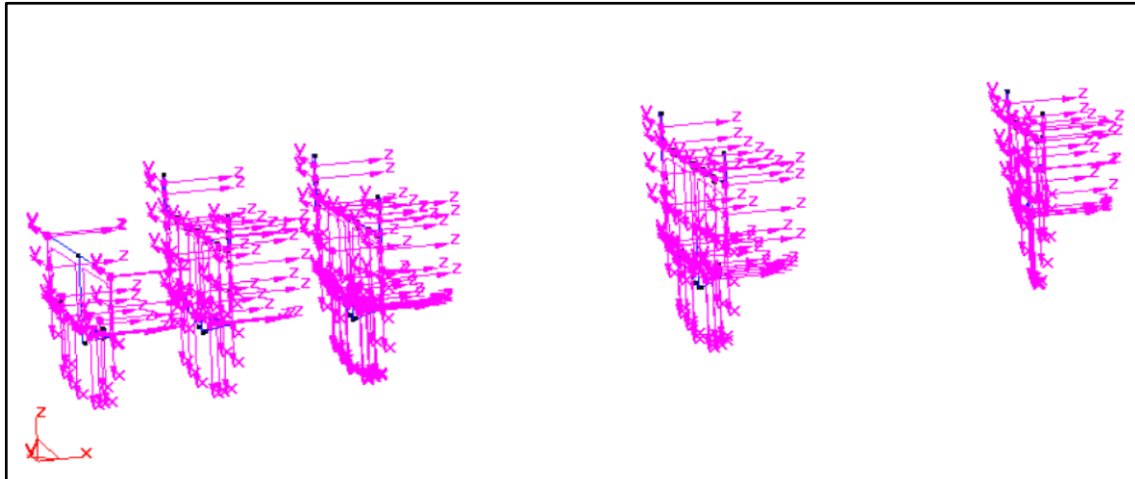
Para comprobar las direcciones pulsaremos sobre el botón de los ejes locales  Ejes Locales: . En este menú hemos de corregir las normales que estén en las direcciones no previstas.



Asignando los ejes locales hemos de obtener un resultado armónico entre todas las superficies.



De esta manera, los unidireccionales y los biaxiales se calcularán en su dirección correcta.



Creación de los materiales

Para laminar todas las superficies hemos de recurrir a los laminados que estaban calculados por el método analítico. Hemos de crear los materiales y los laminados que vamos a emplear.

En datos creamos un material nuevo, que en este caso serán los que hemos empleado para laminar el casco, cuadriaxiales de aramida y espuma de sándwich.



Completamos los datos de los materiales.

Unidireccional de aramida (4 de ellos a 0,45,-45,90 forman el cuadriaxial)



composite props.	composite props.(sec factor)
Composite Props.	
Espesor:	0.15168558 mm
E1:	37843 MPa
E2:	9987 MPa
Nu12:	0.27
G12:	7.6e9 N/m ²
G23:	7.6e9 N/m ²
G13:	7.6e9 N/m ²
Peso específico:	15680.0 N/m ³
Tipo:	Uni

Fibra-Resina

composite props.	composite props.(sec factor)
Composite Props.(Sec Factor)	
Sc1:	551 N/mm ²
Sc2:	105 N/mm ²
St1:	934 N/mm ²
St2:	58 N/mm ²
T12:	112.8 N/mm ²
T23:	112.8 N/mm ²
T13:	112.8 N/mm ²

Sandwich de espuma 30mm

Hemos de introducir los datos del material como si fuese un compuesto para poder incluirlo en el laminado.

Composite Props.	
Espesor:	30 mm
E1:	83 N/mm ²
E2:	83 N/mm ²
Nu12:	0.37
G12:	34 MPa
G23:	34 MPa
G13:	34 MPa
Peso específico:	15680.0 N/m ³
Tipo:	Uni

Composite Props.(Sec Factor)	
Sc1:	1.4 MPa
Sc2:	1.4 MPa
St1:	1.6 MPa
St2:	1.6 MPa
T12:	1.2 MPa
T23:	1.2 MPa
T13:	1.2 MPa

Sandwich de espuma 20mm

Composite Props.		
Espesor:	20	mm
E1:	83	N/mm ²
E2:	83	N/mm ²
Nu12:	0.37	
G12:	34	MPa
G23:	34	MPa
G13:	34	MPa
Peso específico:	15680.0	N/m ³
Tipo:	Uni	

Composite Props.(Sec Factor)		
Sc1:	1.4	MPa
Sc2:	1.4	MPa
St1:	1.6	MPa
St2:	1.6	MPa
T12:	1.2	MPa
T23:	1.2	MPa
T13:	1.2	MPa

Existe la posibilidad de que el programa calcule las características de la placa con las teorías de micromecánica desarrolladas en el capítulo anterior.



Fiber-Resin Composites defini...

Material

Unidades: N-m-kg

Tipo de capa: [dropdown]

% de Refuerzo: [input]

Índice de vacío: [input]

Masa de refuerzo: [input]

Fibra

Young Modulus (N/m2): 0.0

Density (kg/m3): 0.0

Coef. de Poisson: 0.0

Shear Modulus (N/m2): 0.0

Resina

Young Modulus (N/m2): 0.0

Density (kg/m3): 0.0

Coef. de Poisson: 0.0

Shear Modulus (N/m2): 0.0

Aceptar Cancelar

Esta herramienta puede ser muy útil, pero las sociedades de clasificaciones exigen que los datos referentes a los materiales utilizados estén aceptados por normas ISO, por lo que hemos empleado los datos de fabricante.

Creación del laminado

Para la creación del laminado hemos de componer por capas los laminados que hemos calculado anteriormente. Veamos una comparación del laminado analítico y el laminado introducido en el programa

Composite laminate

Laminado

Entrada de datos

Material

Secuencia

Usuario

Número de capas

1

Espesor

m

☐

Ángulo de la fibra


0.0

degrees

Añadir

Borrar todos

Descripción visual



IM6-Carb_Epoxy

E-Glass_Epoxy

M-Carb_Poly

Aramid_Poly

Quadriaxial aramid

corecell A600 30mr

corecell A600 26

IM6-Carb_Epoxy2

Espesor Lam. Total (m)

0.033787

CDG Position (m)

0.0

Composición del laminado

Material	Ángulo	Espesor	C
Mat	0.00	0.000747	1
Quadriaxial aramida	0.00	0.000152	1
Quadriaxial aramida	45.00	0.000152	1
Quadriaxial aramida	-45.00	0.000152	1
Quadriaxial aramida	90.00	0.000152	1
Quadriaxial aramida	0.00	0.000152	1
Quadriaxial aramida	45.00	0.000152	1
Quadriaxial aramida	-45.00	0.000152	1
Quadriaxial aramida	90.00	0.000152	1
corecell A600 30mm	0.00	0.030000	1
Quadriaxial aramida	90.00	0.000152	1

PM

Laminados previamente definidos.

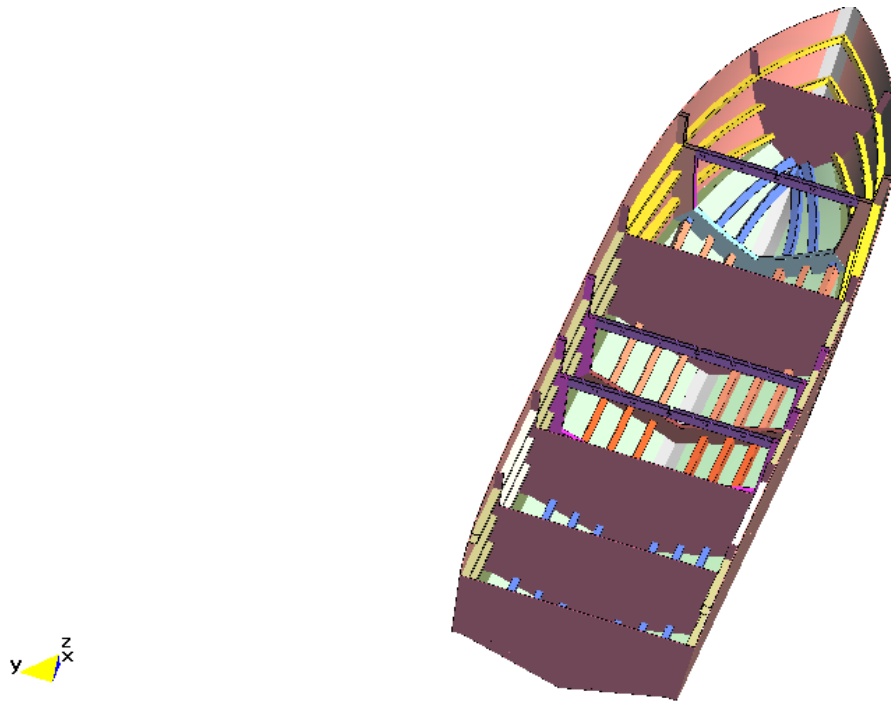
Laminado	Espesor

Añadir

Todas las superficies deben tener propiedades asignadas. En caso de que no las tuvieran el programa mandaría un mensaje de error en el calculo diciendo que tiene objetos sin



propiedades. Para evitar esto es aconsejable renderizar la imagen con los valores y cerciorar que todas las superficies tienen un valor asignado

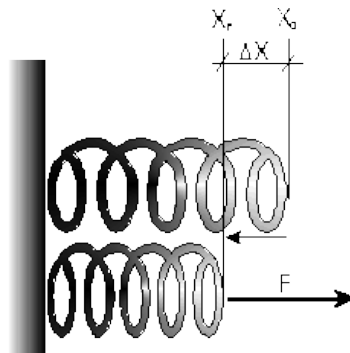


Condiciones de contorno

De los tres aspectos a cumplir para realizar un análisis estructural de elementos finitos nos queda el más polémico en el diseño naval, las condiciones de contorno.

Las estructuras fijas tienen fáciles condiciones de contorno que se pueden dividir en condición de viga apoyada o viga empotrada. Un barco se encuentra flotando libremente sin soportes, esto quiere decir que no tenemos ningún punto donde este se empotre o apoye en caso de recibir un impacto, ya que lo absorbe el peso del mismo. Como puntos estructurales tenemos la quilla y los chines (considerados refuerzos naturales), pero estos también están sometidos a esfuerzos y sufren deformación. La solución mas próxima a adoptar es la suposición de empotramientos elásticos. El modelo tiene otro elemento que puede aportar rigidez y no está modelado, la cubierta. La ausencia de este elemento nos permite suponer en los puntos de unión de esta unos apoyos elásticos que no restrinjan la estructura. Siendo esta solución la mas aceptada en el análisis naval es posible que aparezcan picos de los valores de tensiones en estas zonas. Aunque estos valores sean mucho menores que los valores en el caso de empotramiento no debemos considerarlos como válidos.

Para calcular la elasticidad de los empotramientos hemos de basarnos en la teoría básica de la elasticidad.

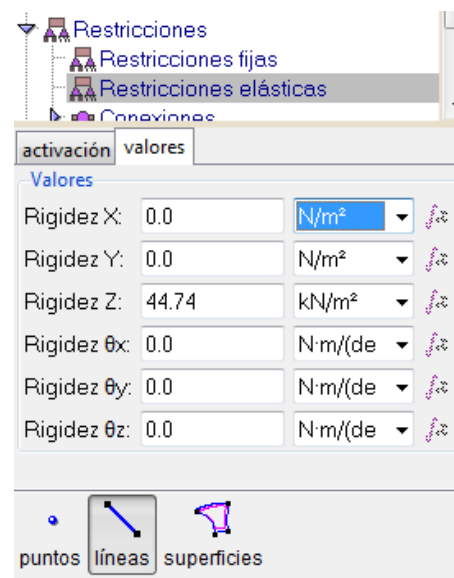
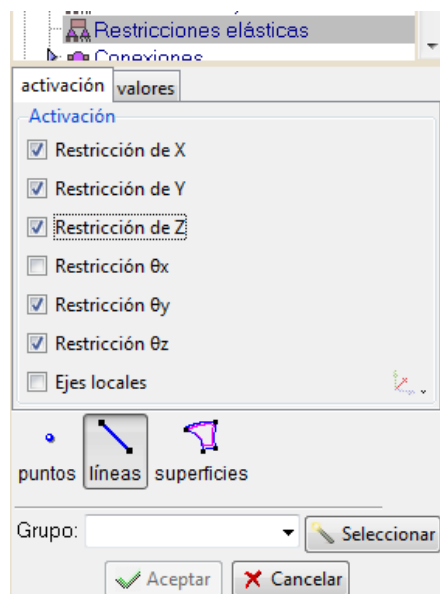


Al repartirse la tensión por toda la regala hemos de repartir la fuerza generada en el fondo. Tenemos 65 metros de regala y mamparos y un desplazamiento de 65000 kg. Esto nos provocará una fuerza en el eje Z de kN, que repartidos entre los 65 metros de regala y mamparos.

$$F = k \cdot x$$

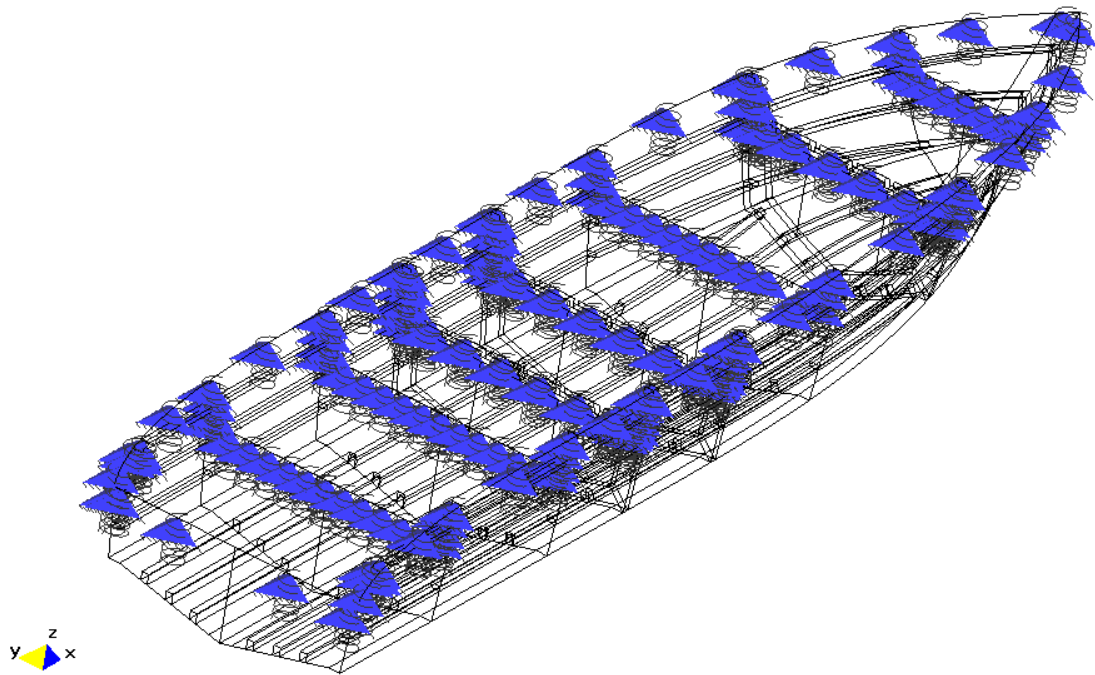
Esta suposición nos da una constante elástica de 637 kN/metro²

Entramos en la selección de condiciones de contorno y seleccionamos las siguientes opciones.





Con estas condiciones seleccionamos toda la regala y los mamparos

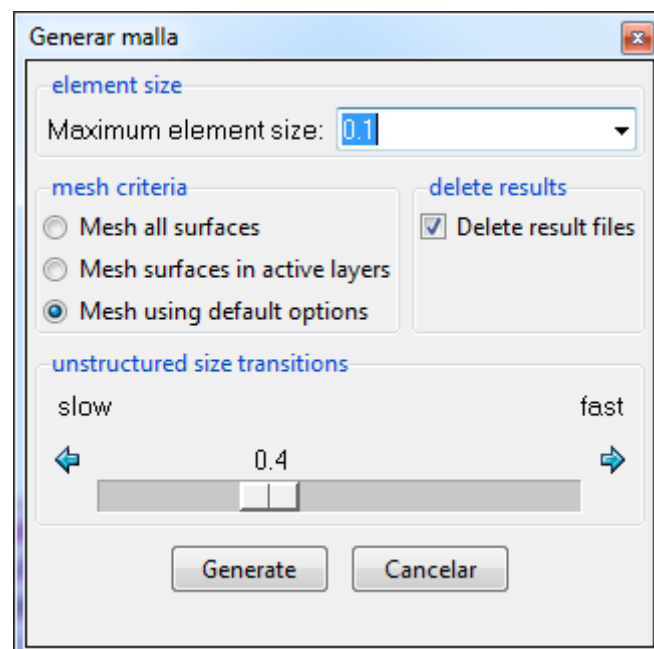


Mallado

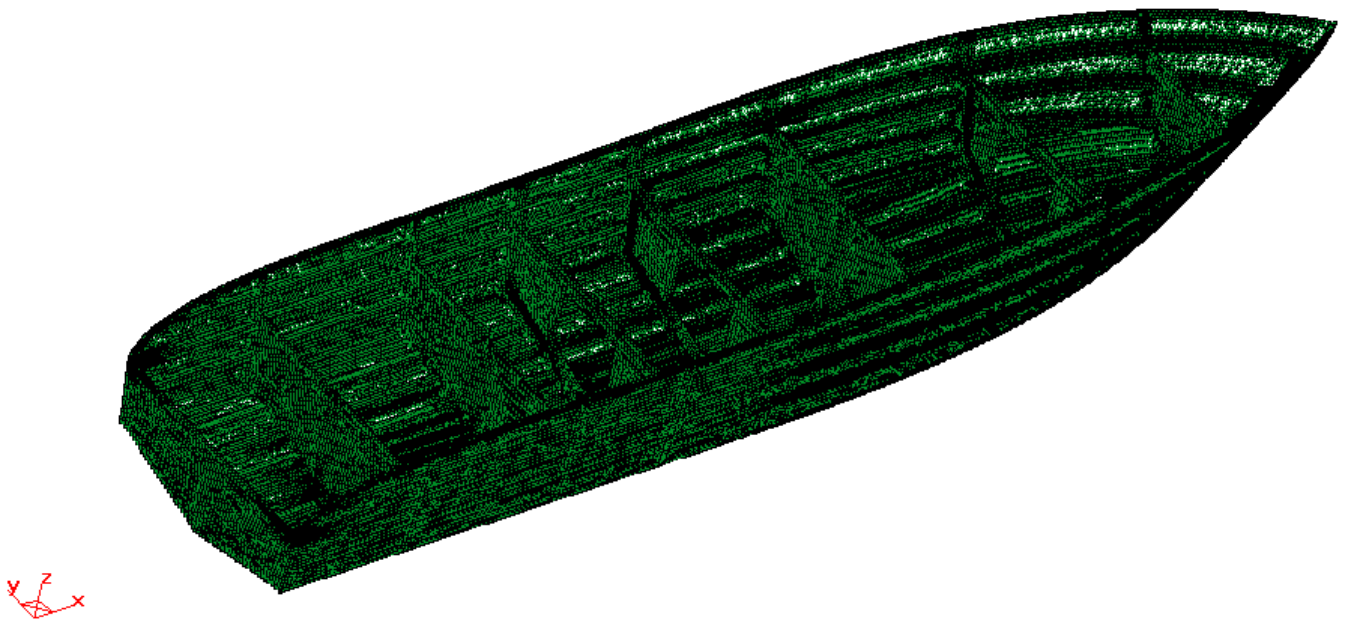
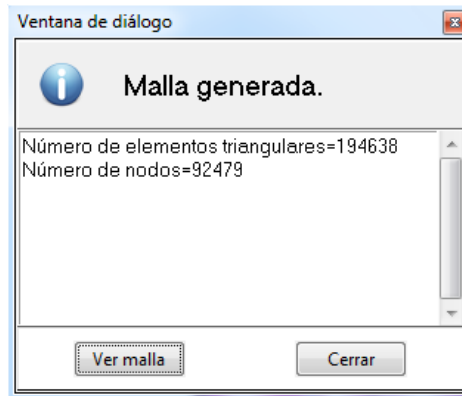
Cuando hemos introducido todos los datos hemos de mallar el modelo con un tamaño de elemento adecuado. Si exigimos un tamaño muy grande de elemento perderemos precisión del cálculo, pero si por el contrario elegimos un elemento muy pequeño el ordenador no podrá procesar por falta de memoria RAM.

Si tenemos zonas concretas elegiremos la opción de tener en ese punto un mallado mas pequeño y preciso asignándole un tamaño propio o divisiones del tamaño general.

Para este cálculo elegimos un tamaño máximo de elemento de 0.1 y una transición de 0,4



Si trabajásemos con media sección y sus correspondientes condiciones de contorno podríamos hacerlo con elementos más finos, pero por cuestiones estéticas del proyecto se ha decidido modelar la carena completa.



Una vez tenemos el mallado, podemos realizar el cálculo.



Proceso de cálculo

```
This is the Ram Series FULL PROFESSIONAL version
Mesh converted to internal 6-noded representation
Number of total nodes in model: 62877

INFORMATION ABOUT STIFFNESS MATRIX
Sparse matrix storage with Direct Solver
Degrees of freedom= 340199
Total number of positions= 11505523
Amount of memory= 133.0Mb

Just before filling global stiffness matrix for static analysis
Stiffness matrix filled
Load vector constructed
Beginning to apply constraints
Just before Solver

Starting solution process

Setup Solver control parameters

Using 2 CPUs for solver

Initialize internal solver memory pointer

Reordering and Symbolic Factorization
Reordering completed.....

Numerical factorization
Factorization completed.....

Back substitution and iterative refinement

Termination and release of memory

Total solver time = 0.37 min. = 22 seg.
Solver finished
Beginning calc strengths and reactions
End of calc strengths and reactions
Beginning smooth of the gaussian variables
Transferring results

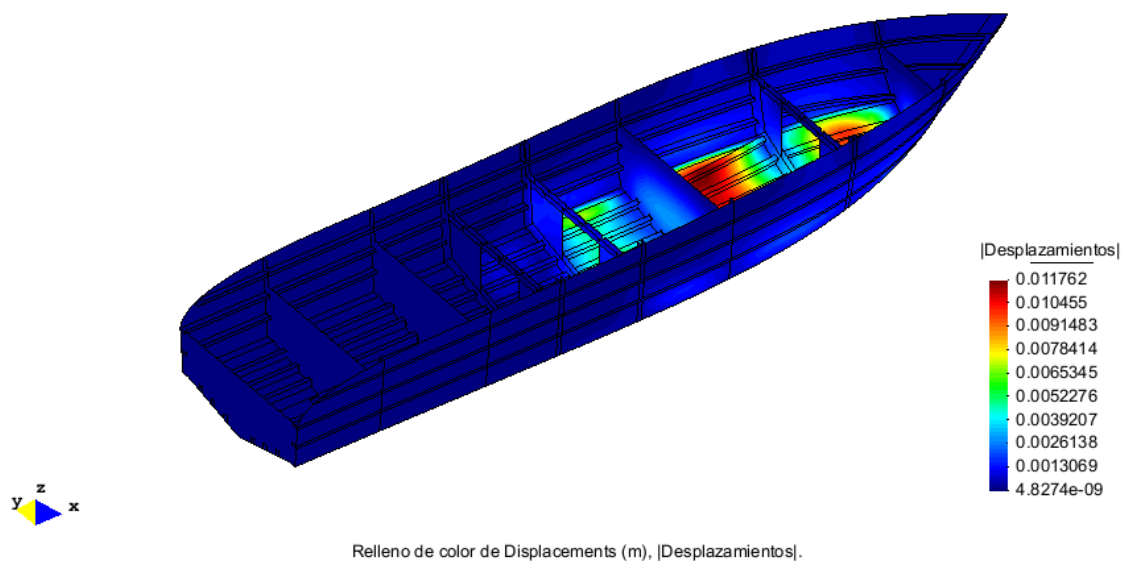
Total time = 23 min. = 1.4e+003 seg.
```

Cerrar



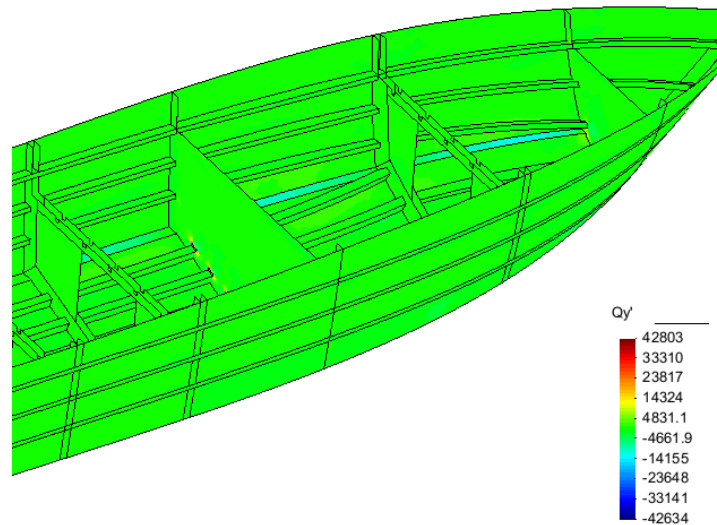
Resultados

El primer resultado obtenido son los desplazamientos



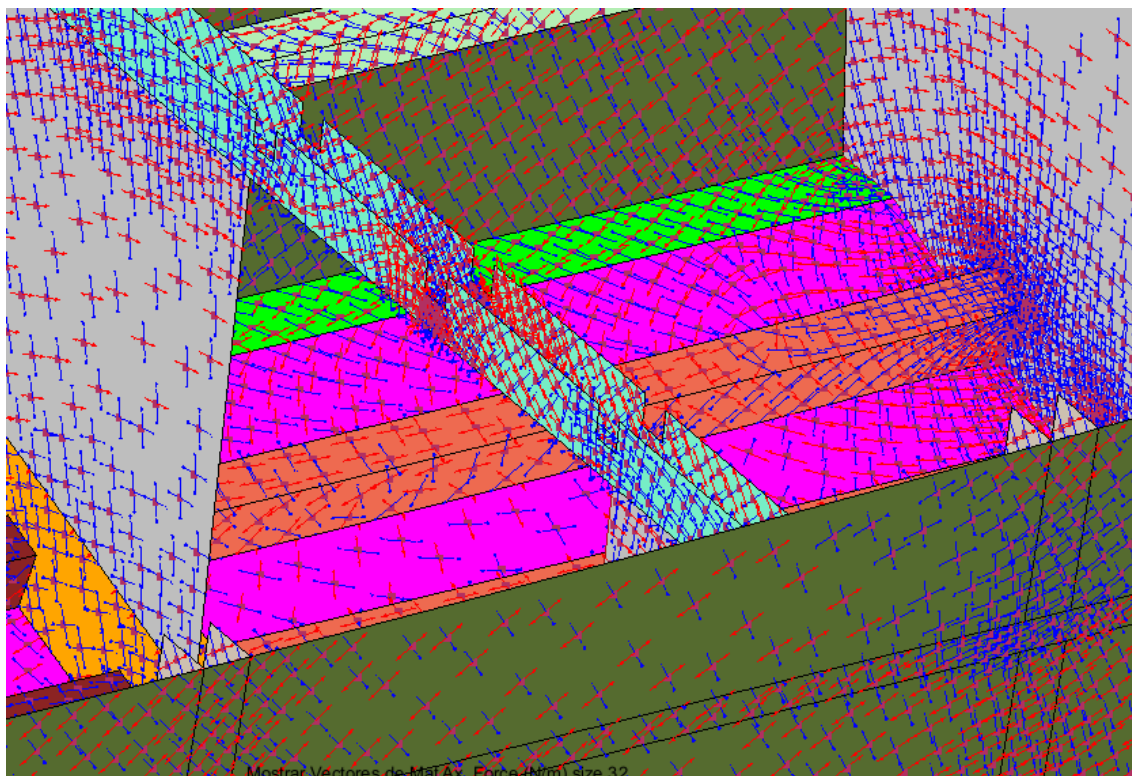
Como vemos, el máximo desplazamiento producido es de 1.17 centímetros, lo que nos resulta satisfactorio.

El siguiente punto es analizar los cortantes, que como vemos se concentran en las uniones de longitudinales y mamparos, lo que nos indica que sería una opción correcta insertar cartelas de composites en estos puntos para reducir las tensiones



Relleno de color de Shear (N/m), Qy'.

Al activar los vectores que representan los flujos de fuerzas, vemos como los longitudinales sufren en sus costados las tensiones en las direcciones de los laminados de 45 grados. Esto explica las recomendaciones de los reglamentos del empleo de laminados en estas direcciones en los refuerzos omega.



Representación entre el segundo anillo y tercer mamparo

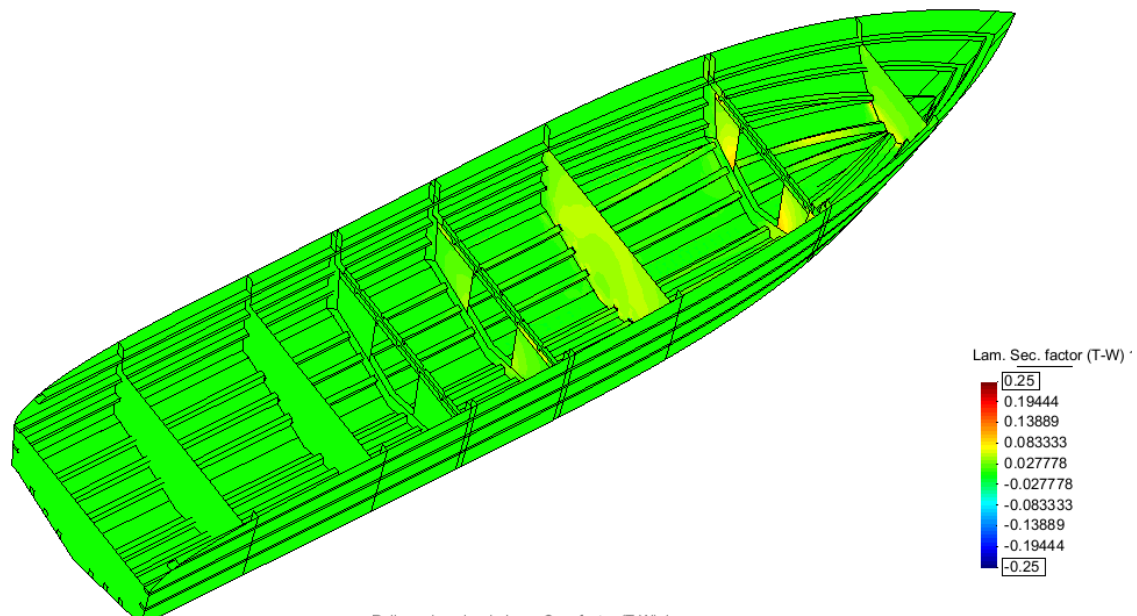
En este punto nos queda conocer los factores de seguridad de la estructura.

Como hemos visto en el laminado analítico, las capas que tienen peor factor de seguridad son las mas externas de la plancha. Por este motivo analizaremos la capas 1,2 y 4 y 5 de cada extremo. La capa 1 representará el mat en casco y costados y la primera capa del cuadriaxial o biaxial en el resto. La segunda capa será representativa de la primera capa del cuadriaxial de costado y fondo. En la cara interior al no haber mat analizaremos las capas 1 y 4.

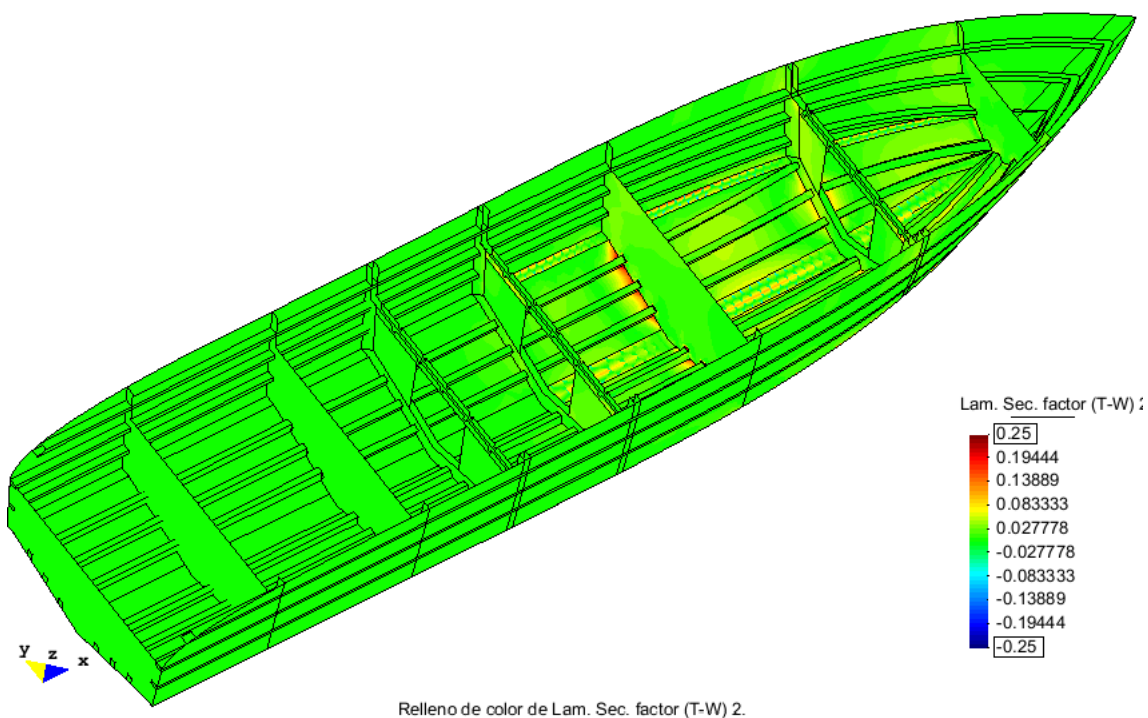


Cara exterior del laminado

Capa 1

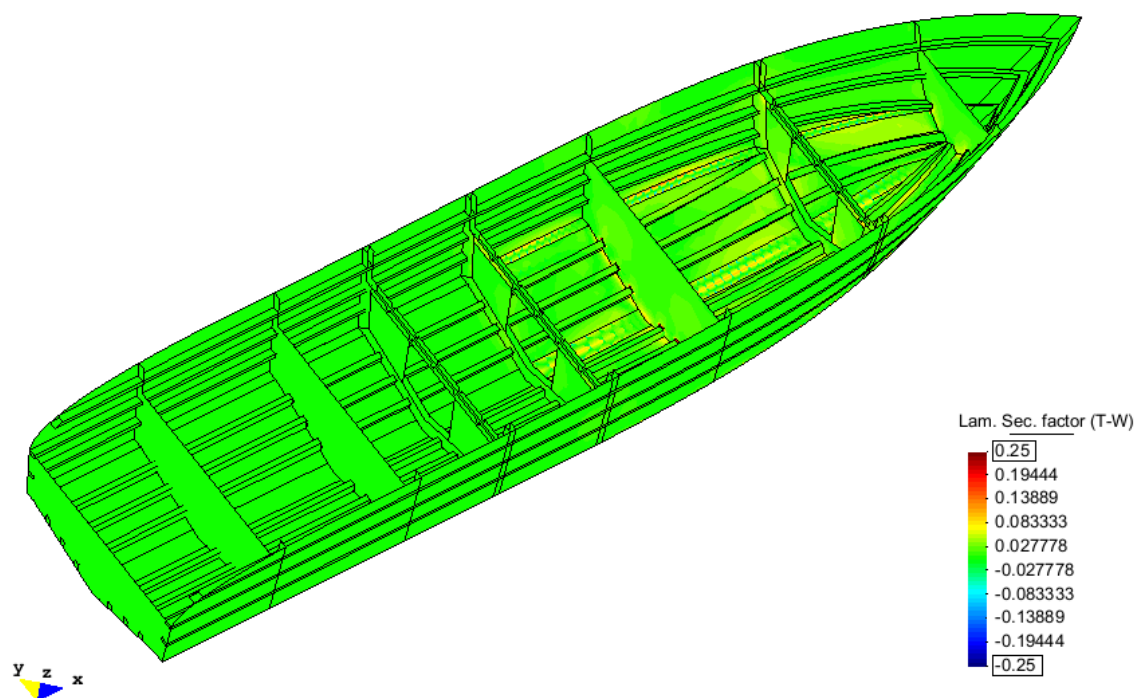


Capa 2



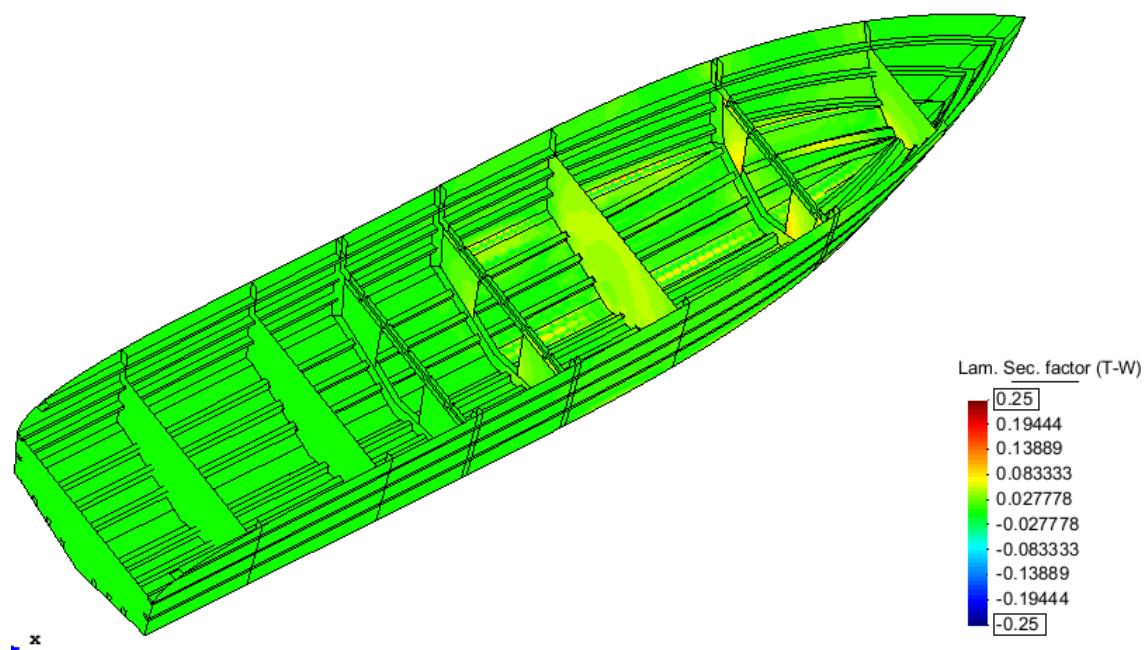


Capa 4



Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 4.

Capa 5

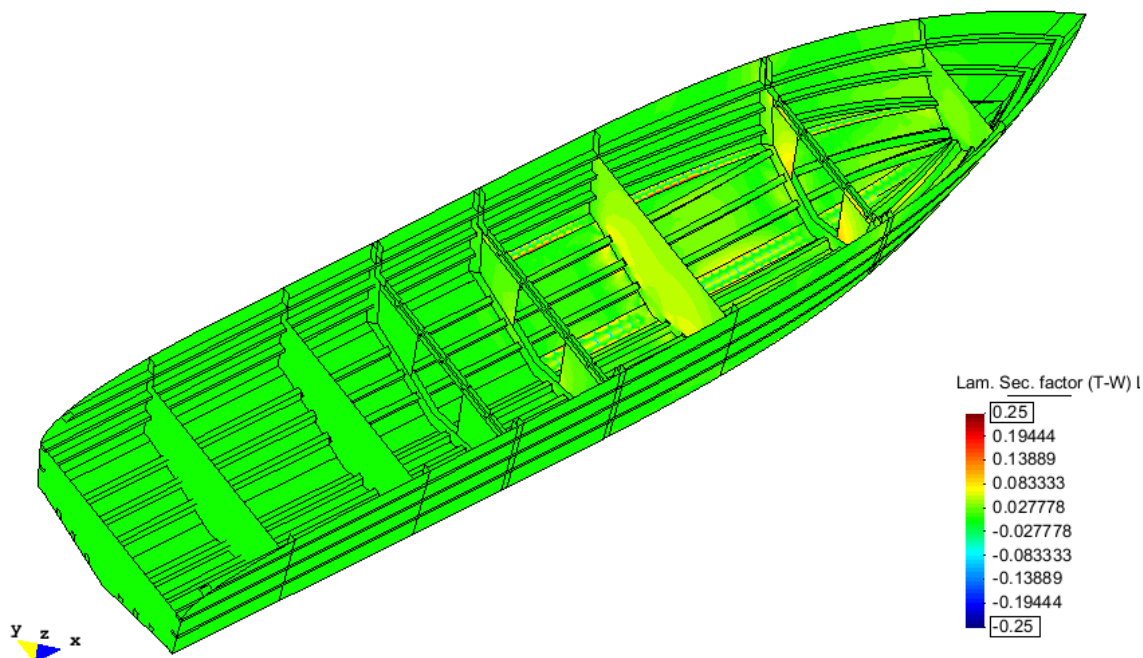


Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 5.

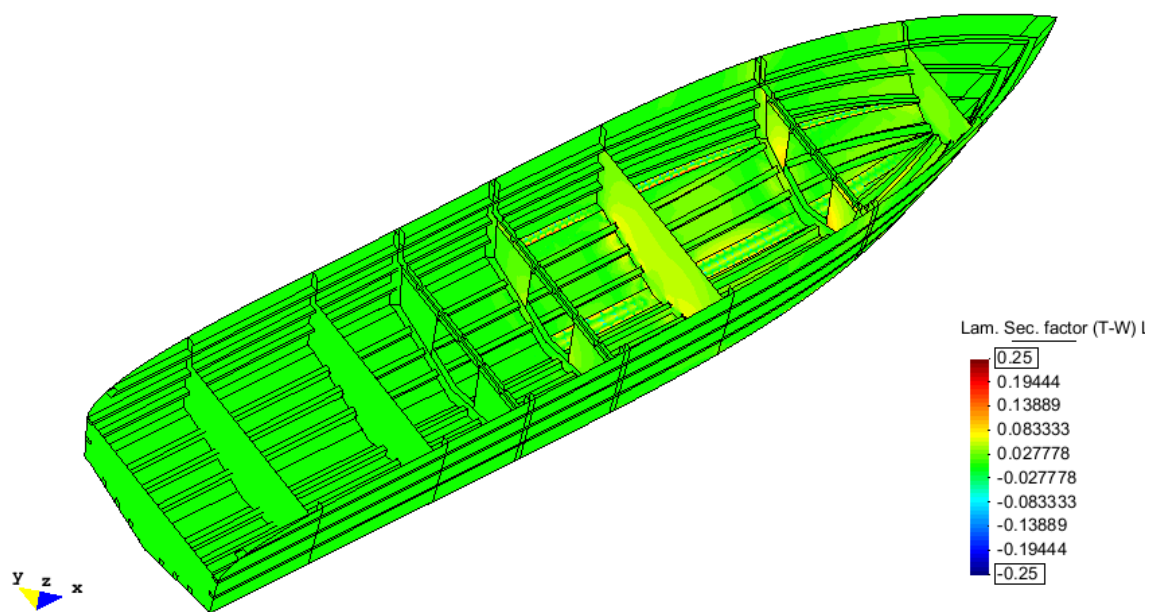


Cara interior del laminado

Capa 1



Capa 4

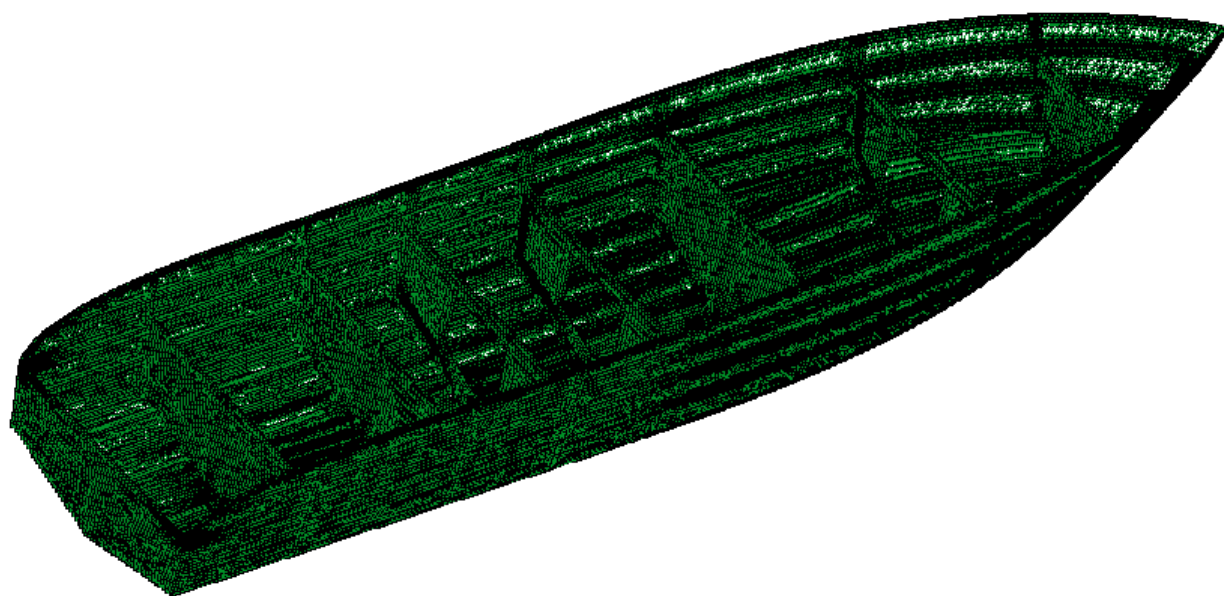
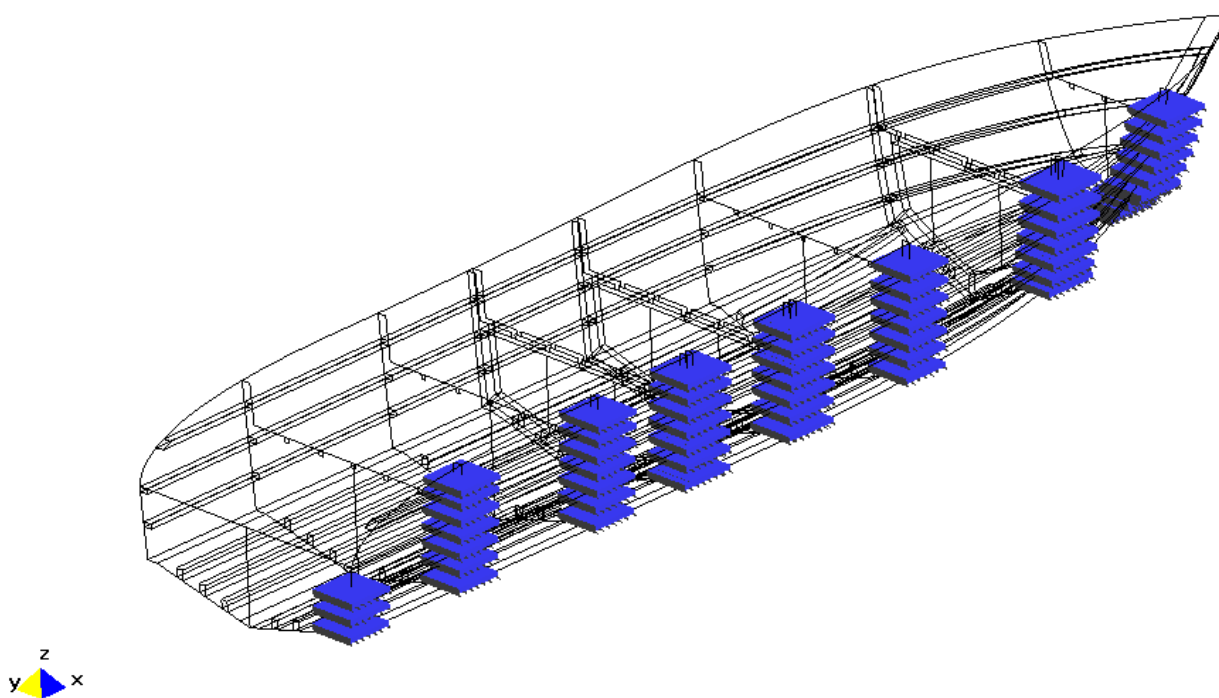


Los resultados del análisis del casco por elementos finitos han resultado como esperábamos, hemos laminado todo el casco con el mismo sándwich por facilidad de construcción, lo que nos ha dado unos coeficientes de seguridad muy altos en la popa donde podríamos haber empleado según el cálculo analítico menos capas y otros coeficientes cercanos al límite en las capas mas exteriores (Capa2) en el punto inferior de la conexión de refuerzos longitudinales y mamparos tres y cuatro. Posiblemente la opción de cartela en ese punto nos daría mas altura del refuerzo en ese punto y como consecuencia mayor inercia y resistencia.



Estructura de costado

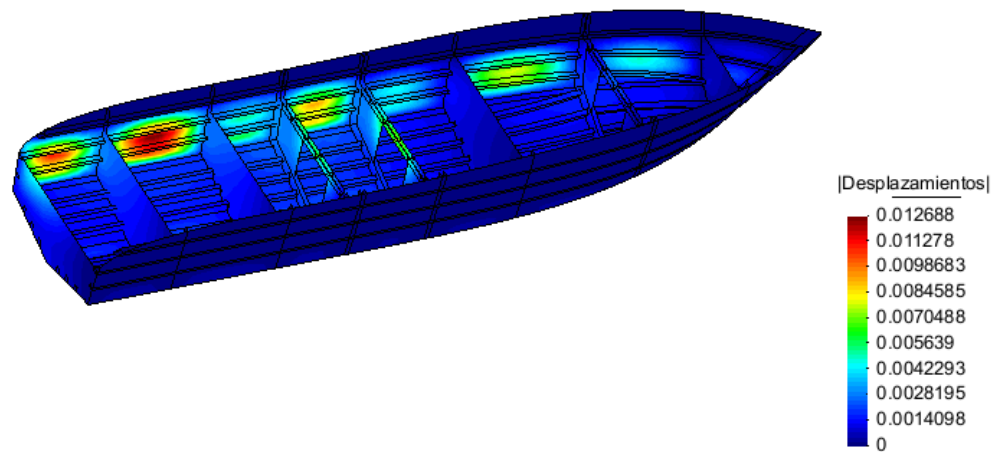
Seguimos el mismo procedimiento que en el caso anterior, pero en este cálculo empotraremos un costado del casco y presionaremos el contrario.





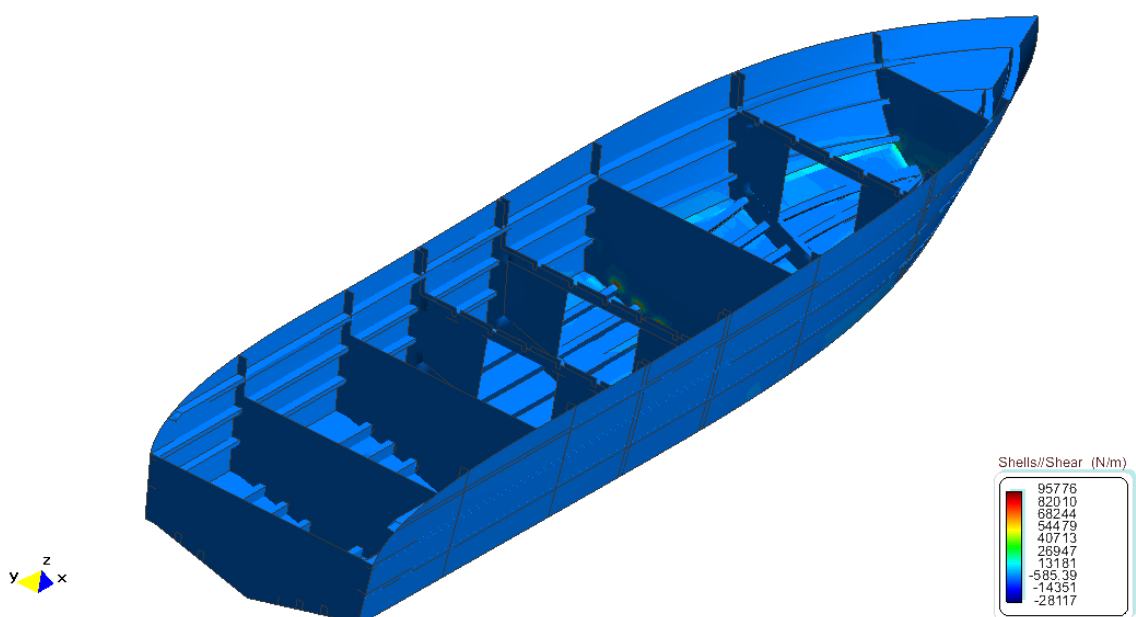
Resultados

Desplazamientos



Relleno de color de Displacements (m), |Desplazamientos|.

Cortantes

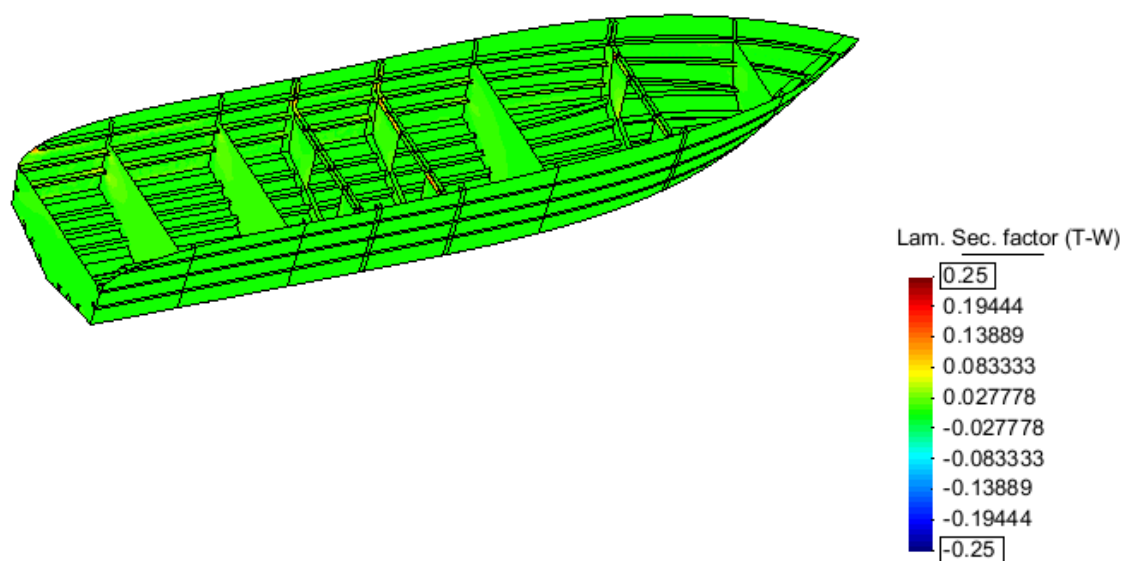




Factores de seguridad

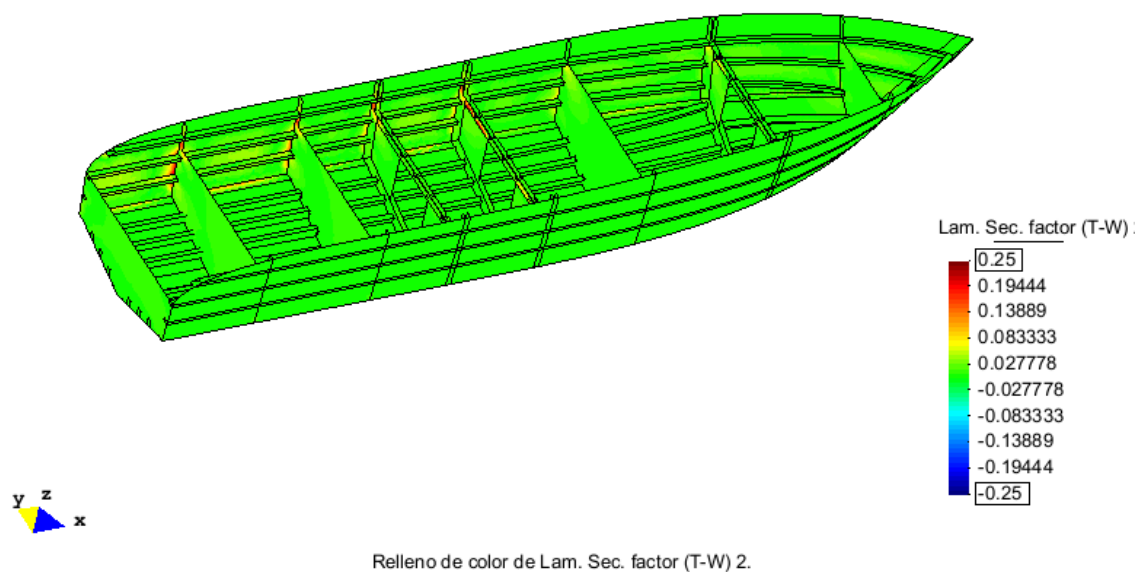
Parte externa

Capa 1

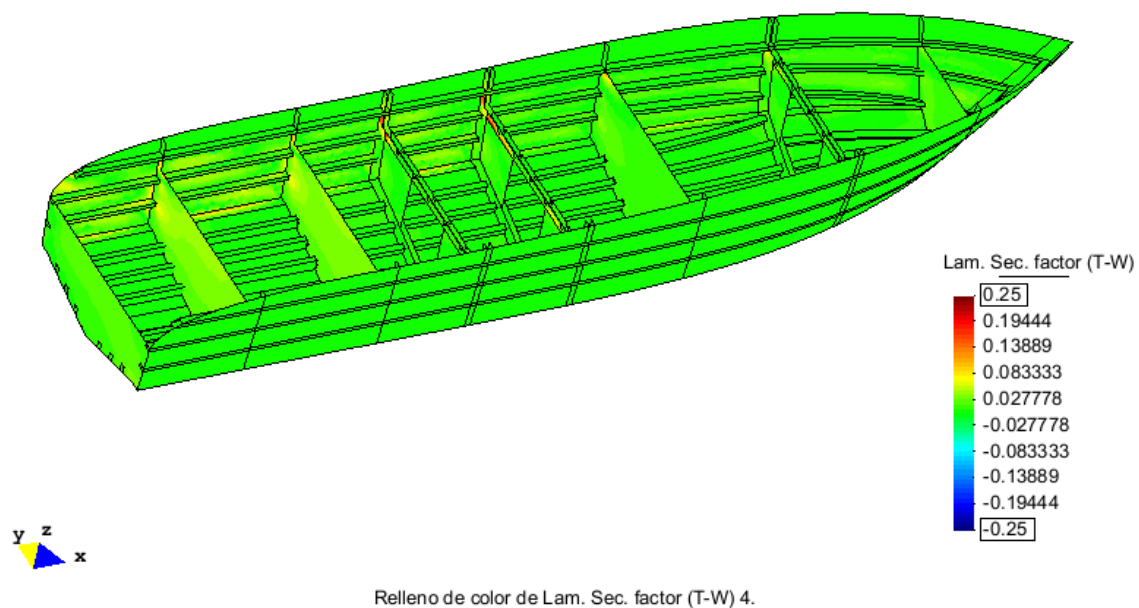


Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 1.

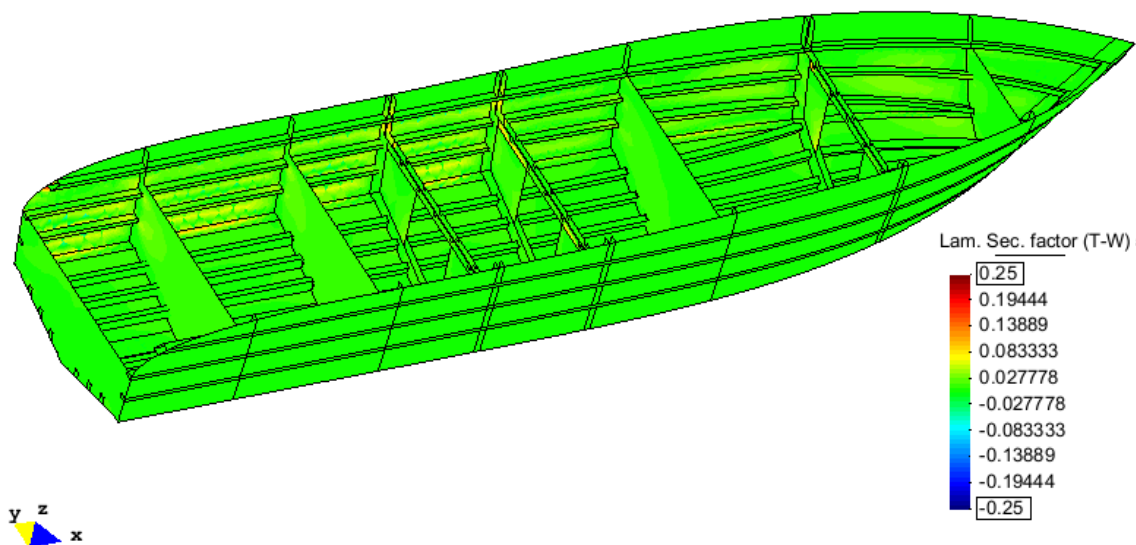
Capa 2



Capa 4



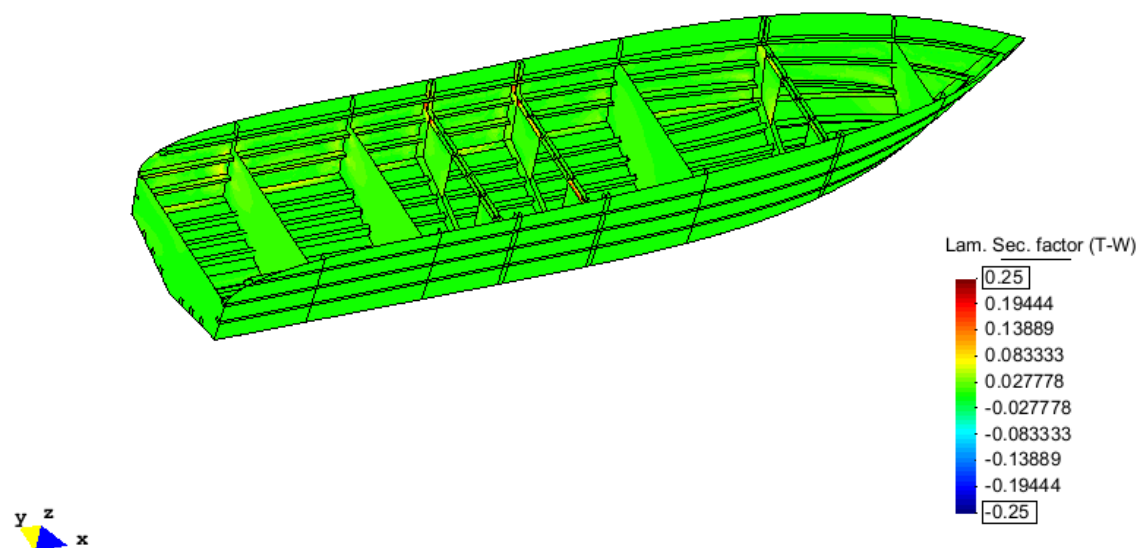
Capa 5



Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 5.

Parte interna

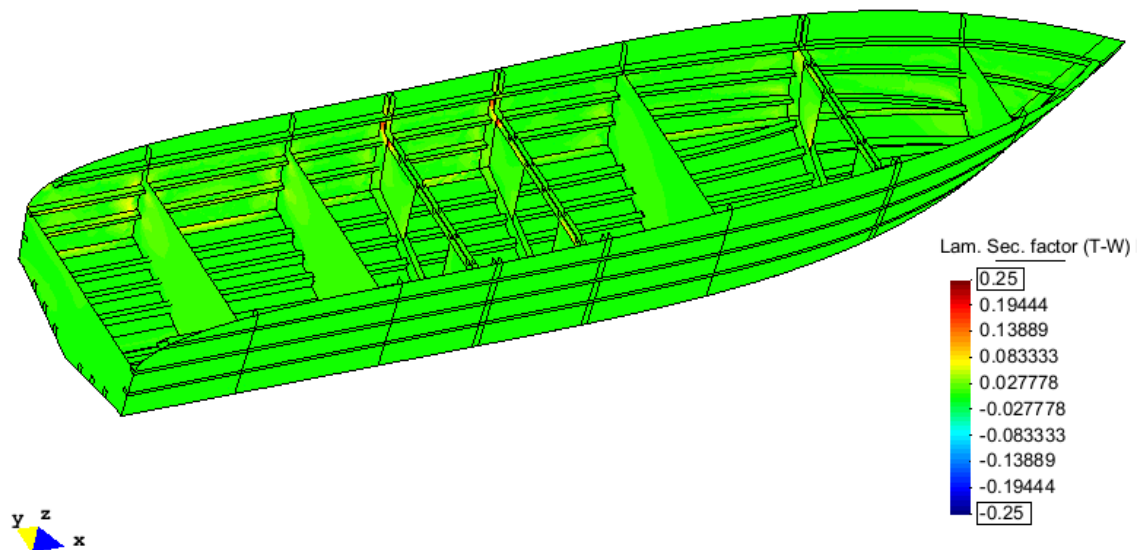
Capa 1



Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) Last.



Capa 4

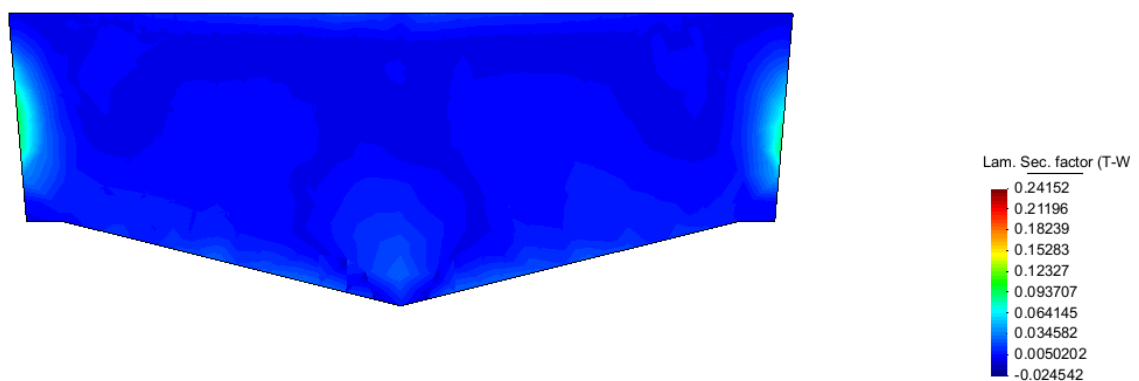


Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) Last(-4).

Mamparos

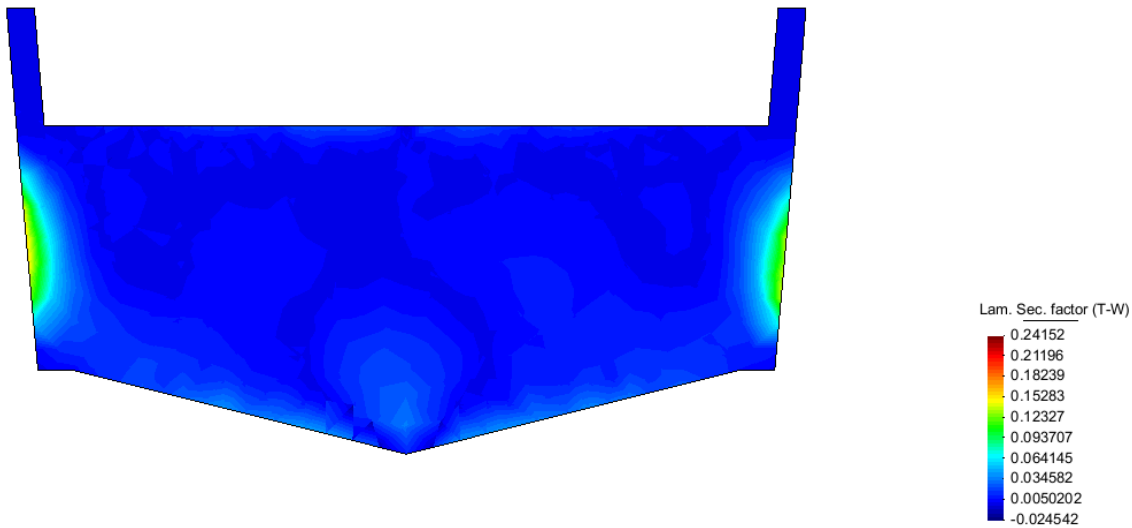
Mostraremos sólo la primera capa correspondiente al lado de compresión por ser la que está expuesta a mayor sollicitación

M-0



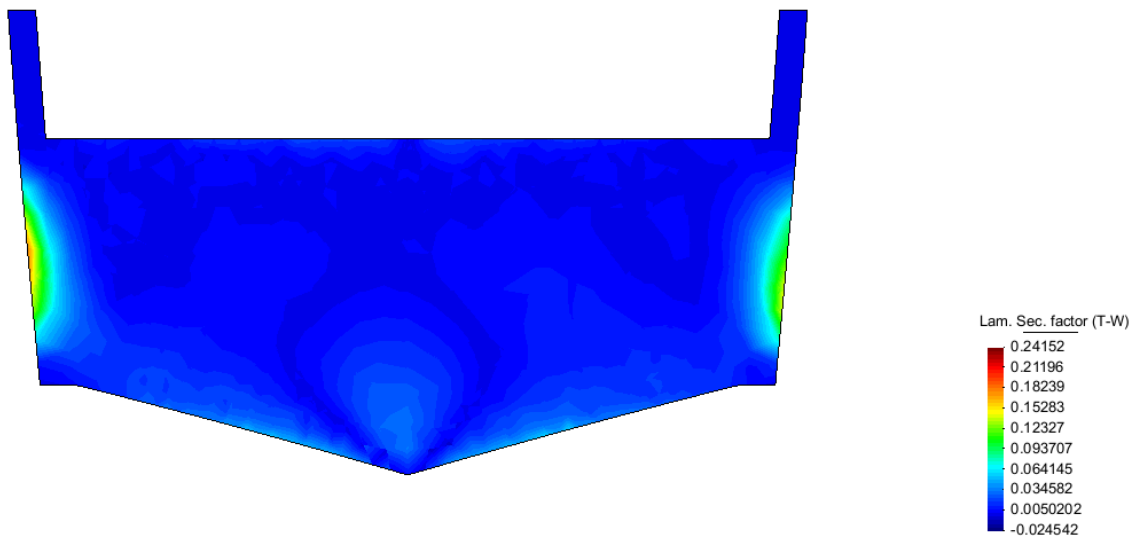
Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 1.

M1



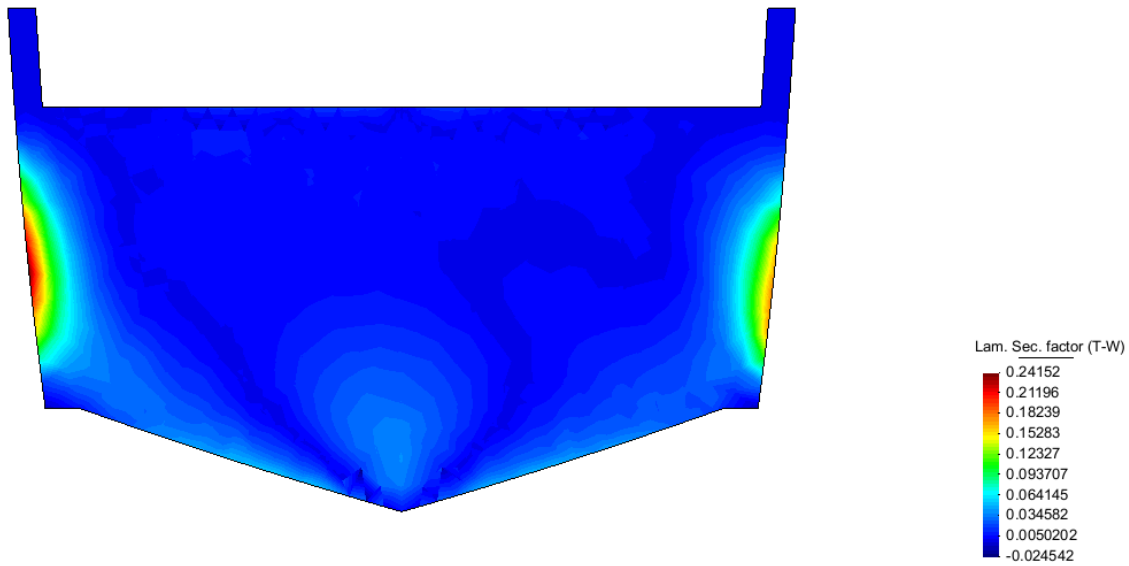
Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 1.

M-2



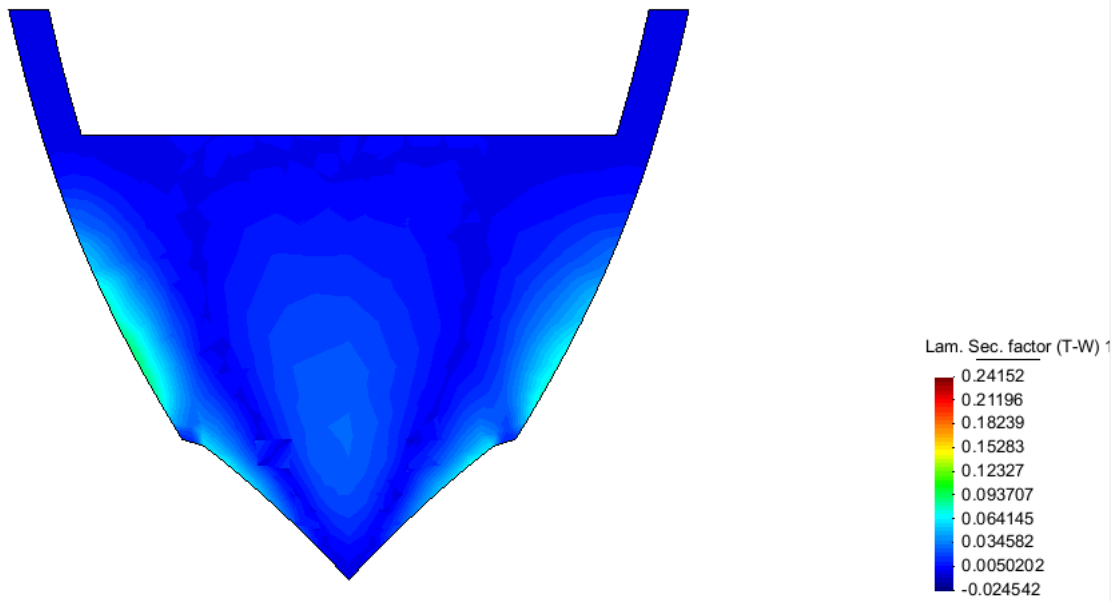
Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 1.

M-3



Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 1.

M-4

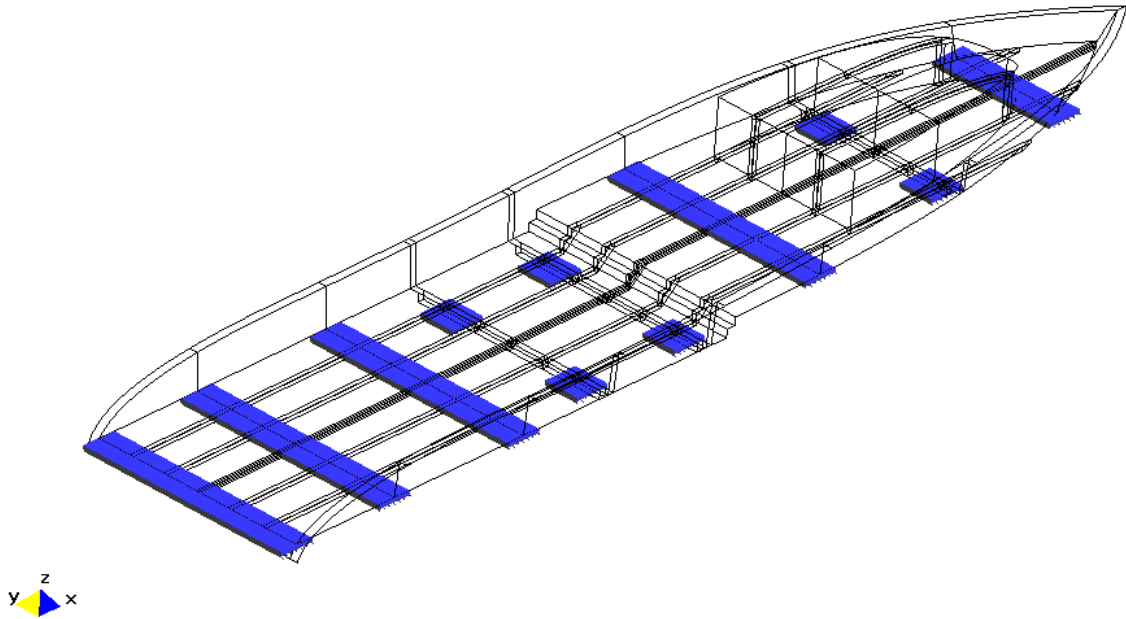


Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 1.

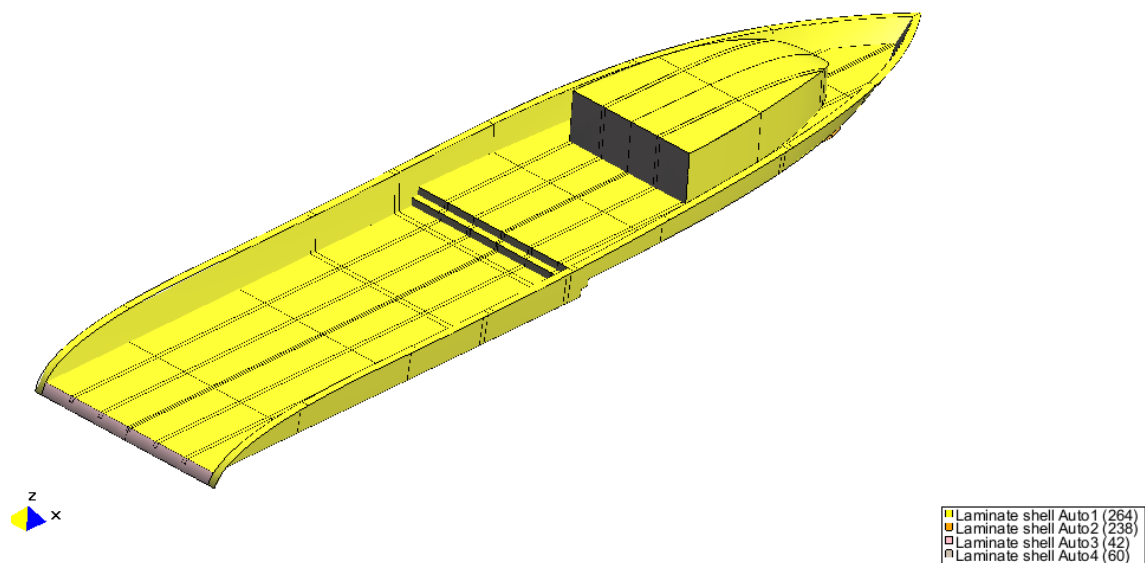


Estructura de cubierta

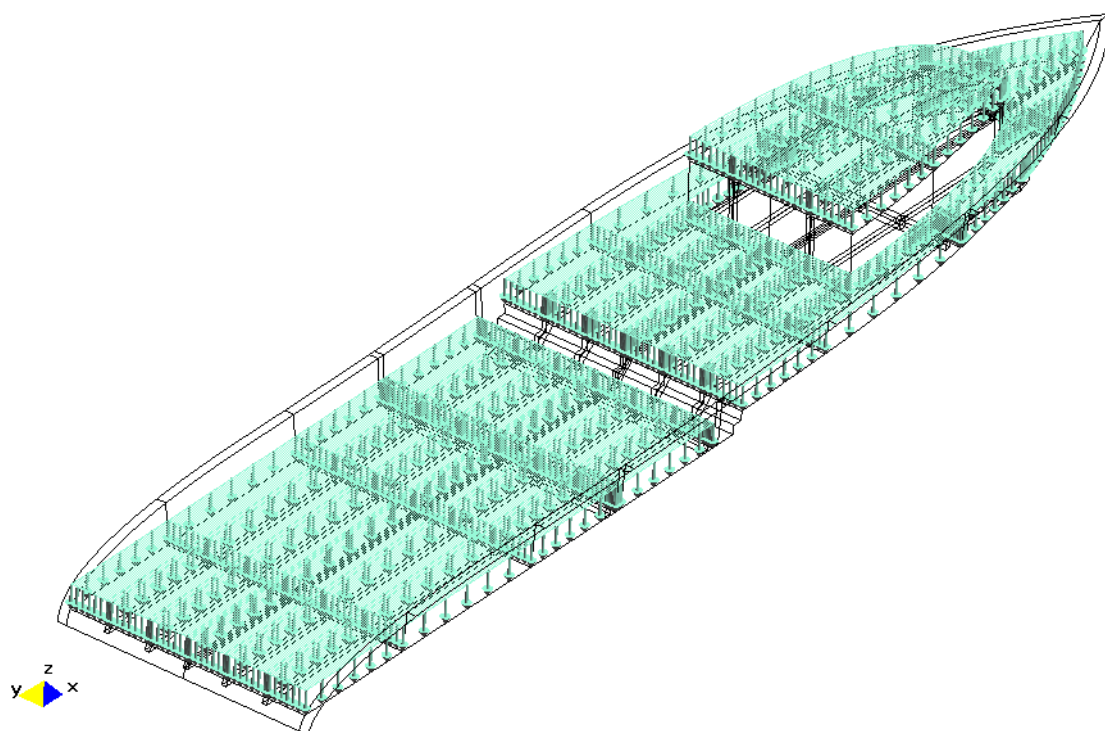
Establecemos como condiciones de contorno los mamparos sobre los que se apoya la cubierta



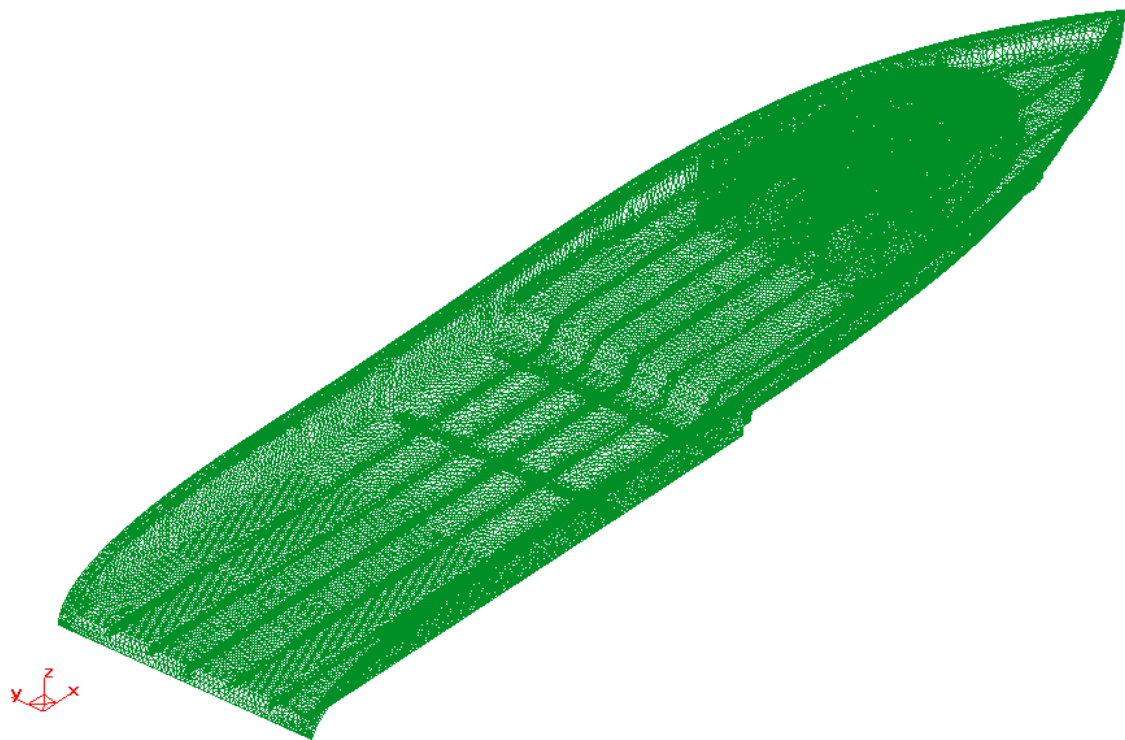
Asignamos los laminados correspondientes



Asignamos las presiones de cubierta en las superficies

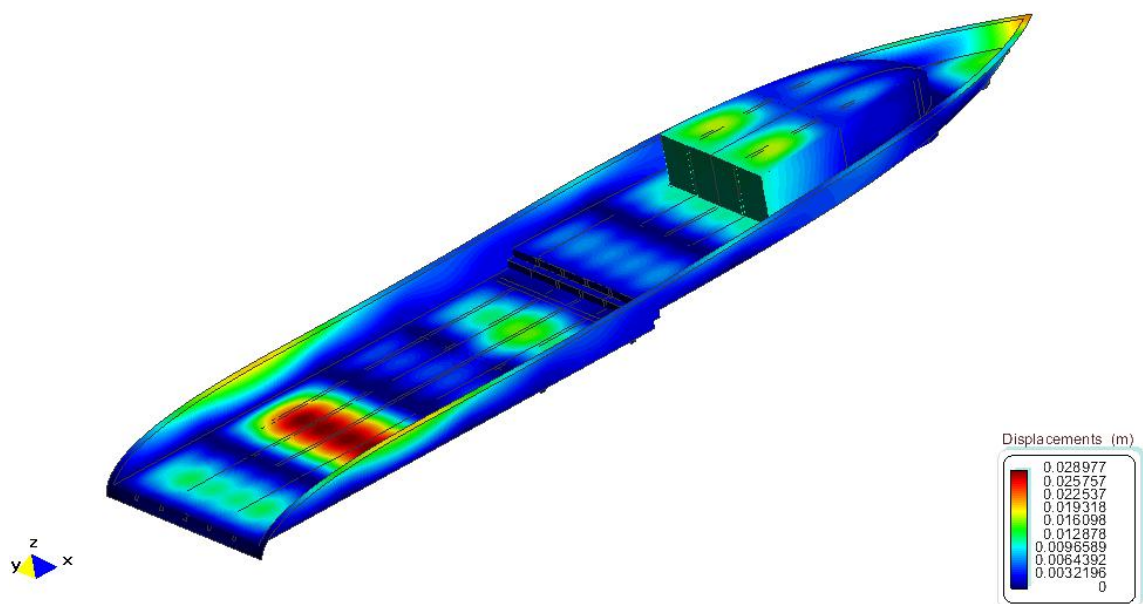


Asignamos el mallado correspondiente



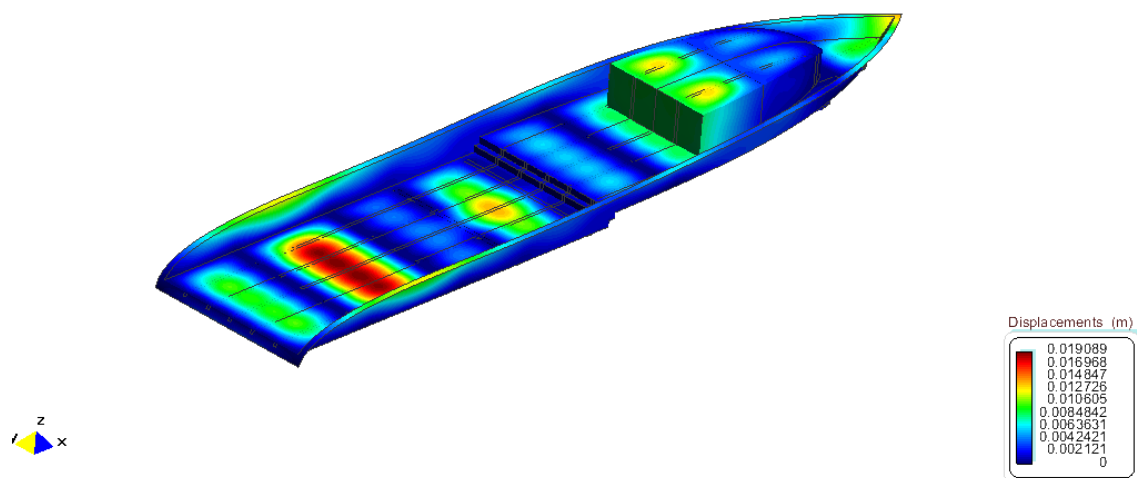
Resultados

Desplazamientos

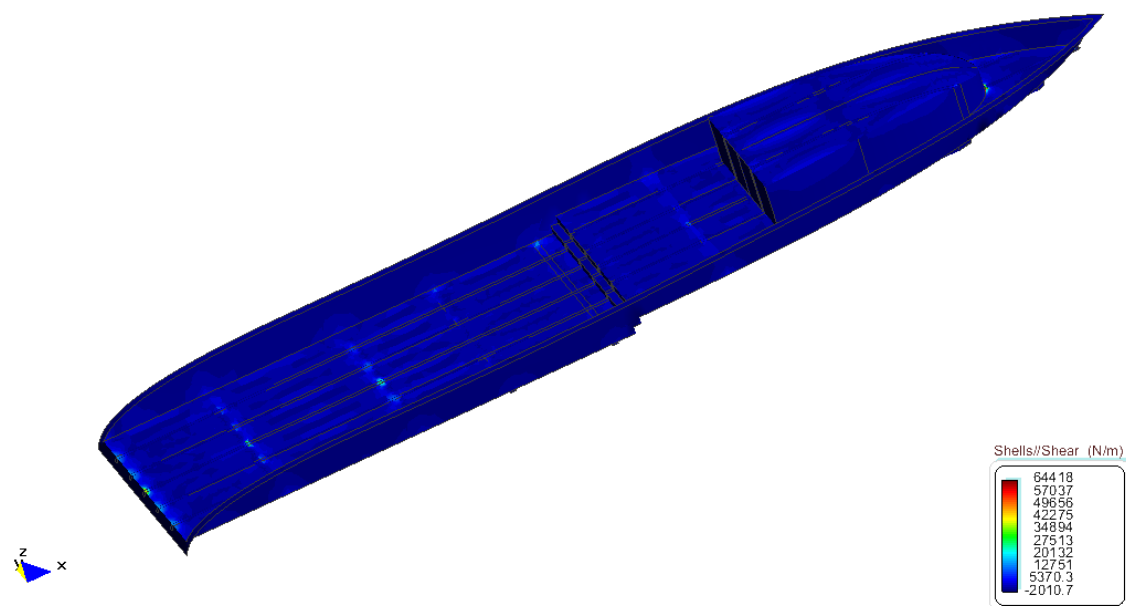




El resultado obtenido para los desplazamientos es satisfactorio desde el punto de vista del reglamento, pero siendo la cubierta una zona pisable no podemos permitir que haya posibilidad de sensación de andar sobre un material que no es totalmente rígido. El análisis nos especifica claramente que la distancia entre el mamparo uno y dos es demasiado luz para considerar ese laminado satisfactorio. Volveremos a la anterior etapa de definición de laminados y en esa zona laminamos una capa mas de cuadriaxial en la plancha para rigidizar el sándwich.



Esfuerzos cortantes

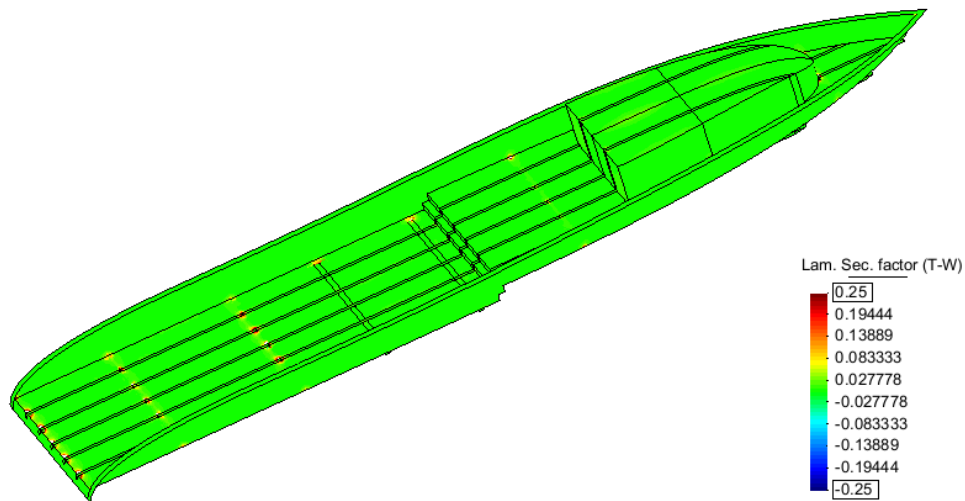




Una vez resuelto el tema anterior, analizamos los factores de seguridad de las capas de la misma manera que venimos haciendo anteriormente

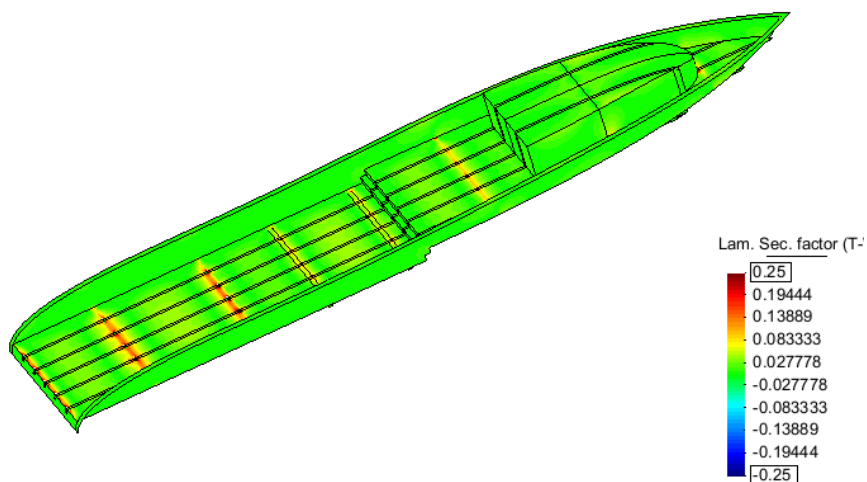
Cara exterior

Capa 1



Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 1.

Capa 2

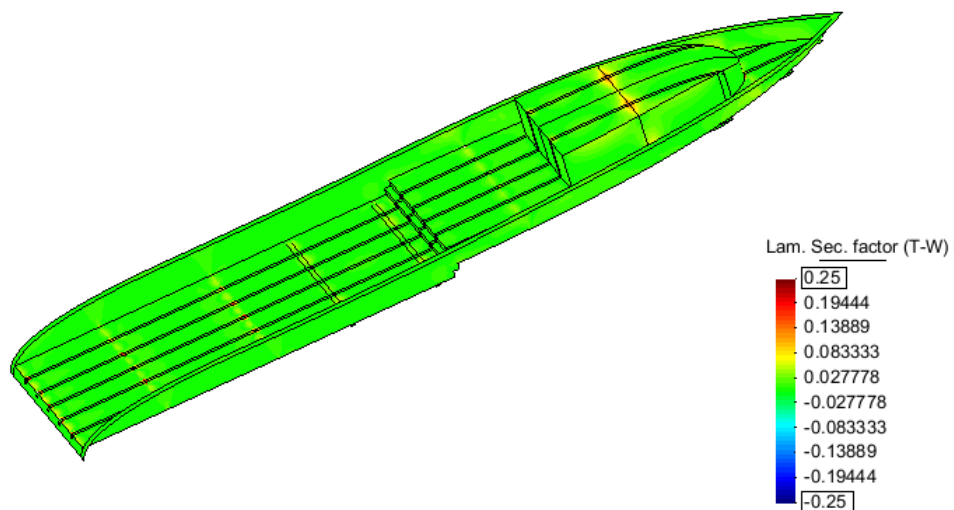


Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 2.



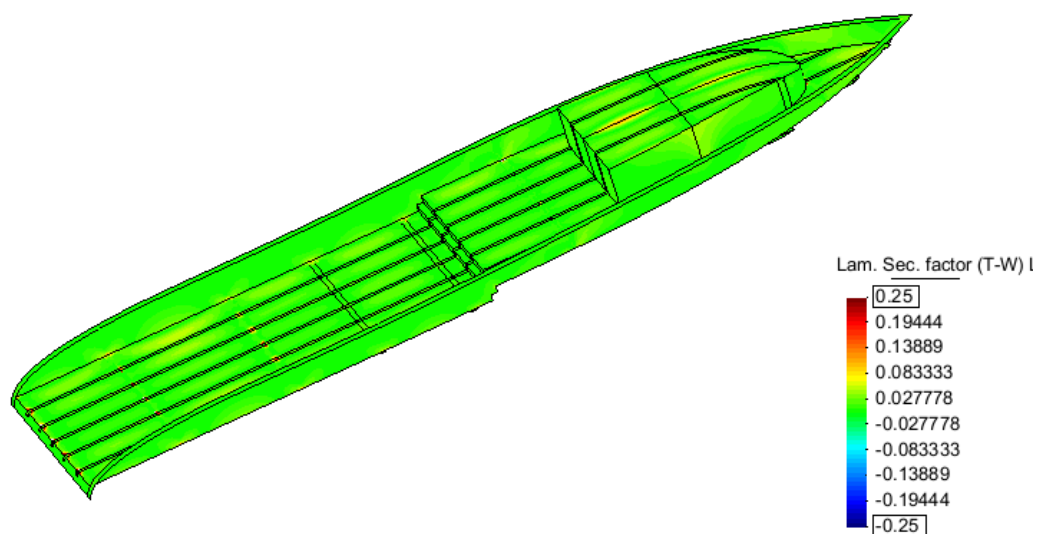
Cara interior

Capa1



Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) Last.

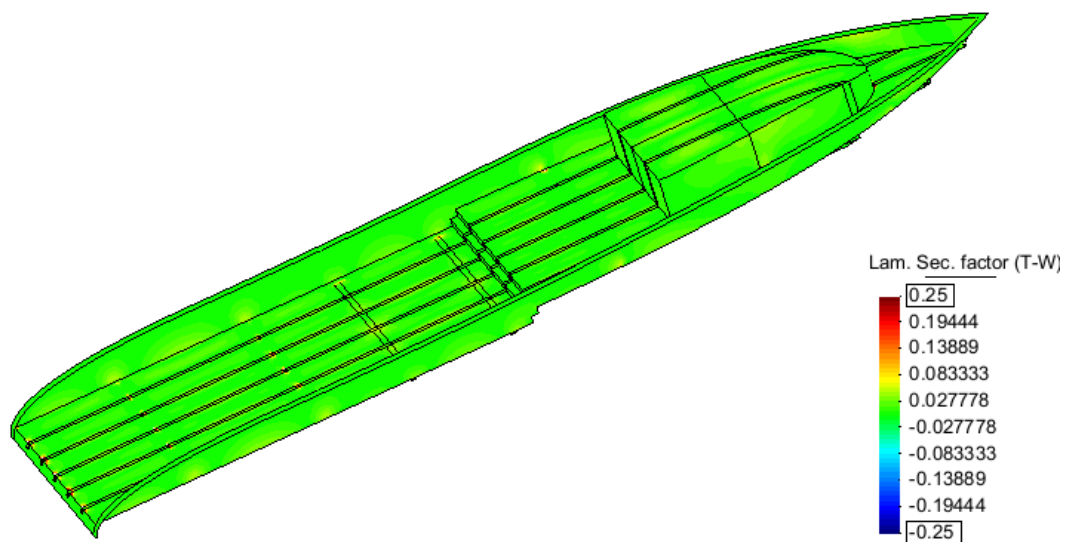
Capa 4



Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) Last(-3).



Capa 5

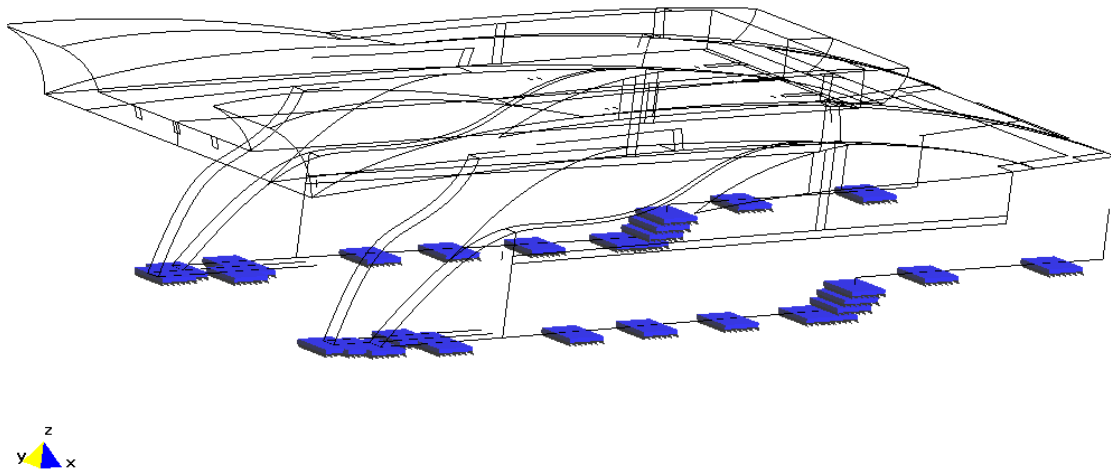


Relleno de color de Lam. Sec. factor (T-W) 5.

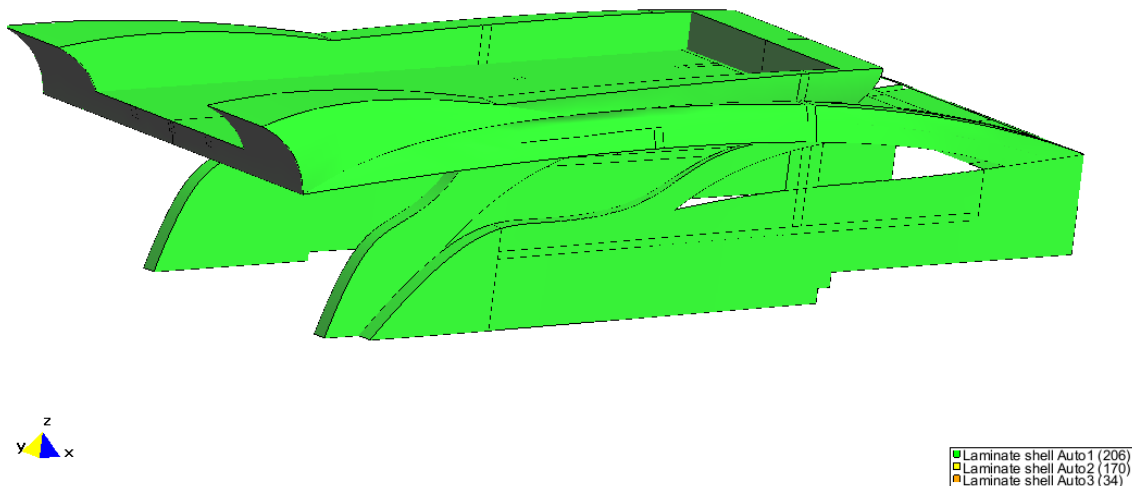


Estructura de superestructura

Establecemos el anclaje de la superestructura a la cubierta

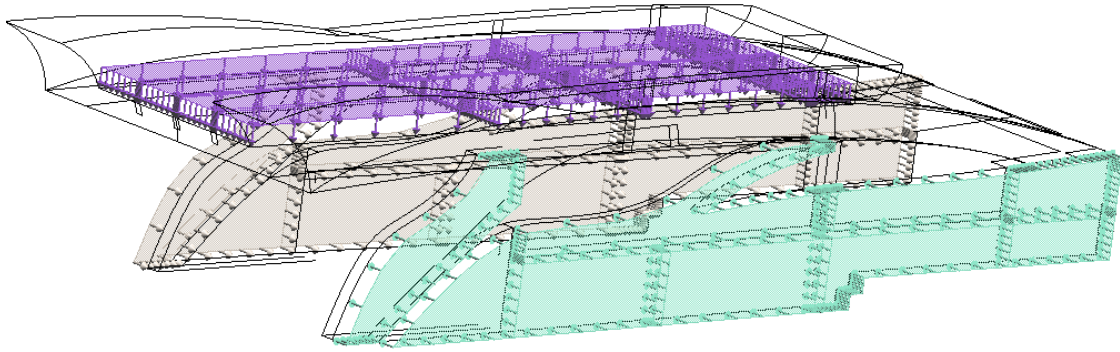


Establecemos los materiales de la superestructura

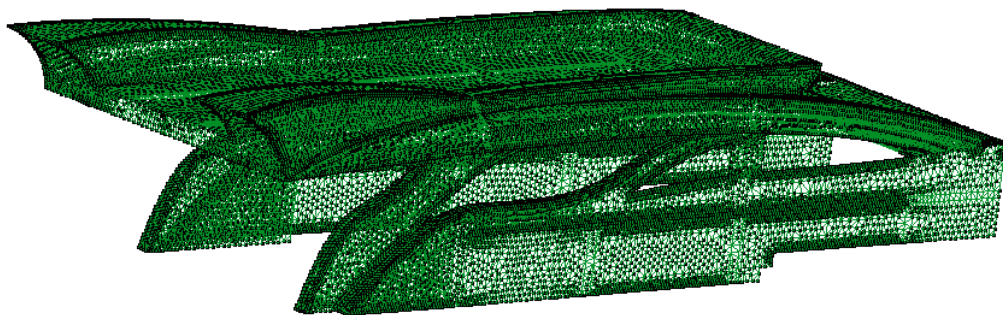




Establecemos las presiones de reglamento



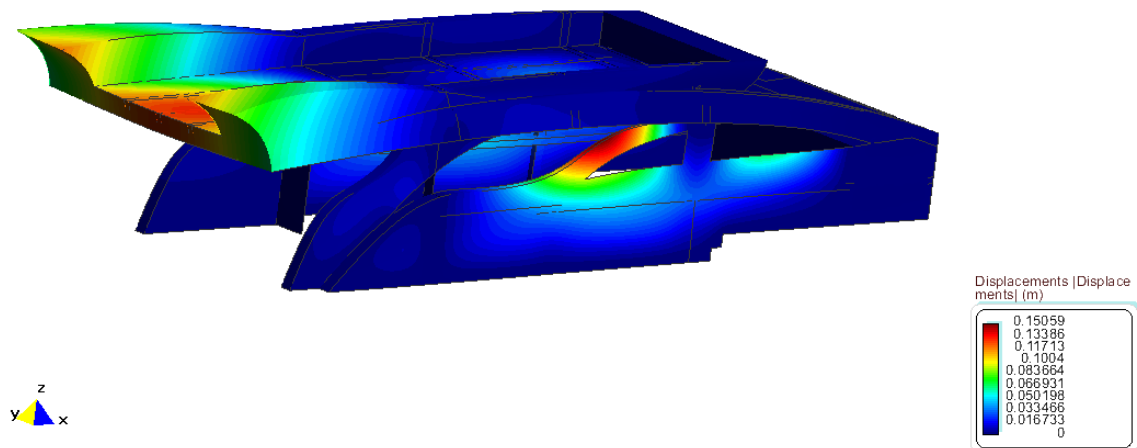
Realizamos el mallado





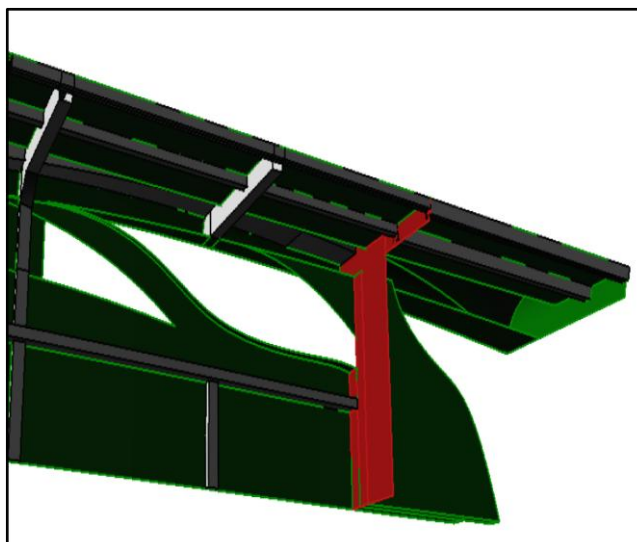
Resultados

Desplazamientos

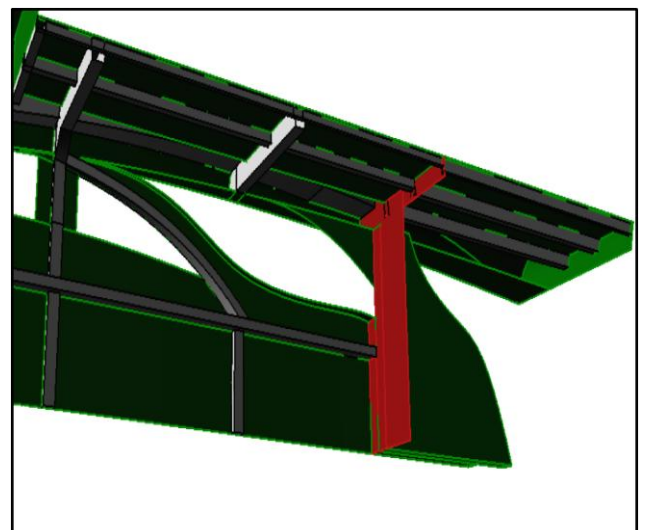


Una vez mas, tenemos una estructura válida según reglamento, pero decidimos hacer cambios. La estructura puede estar correcta en cuanto a la rotura del material, pero el voladizo tiene demasiada flexión y la plancha que forma el arco de la ventana no está convenientemente reforzada.

Vamos a incrementar el laminado, añadir un refuerzo en voladizo y colocaremos un refuerzo en el marco de la ventana para disminuir la flexibilidad de estos elementos.

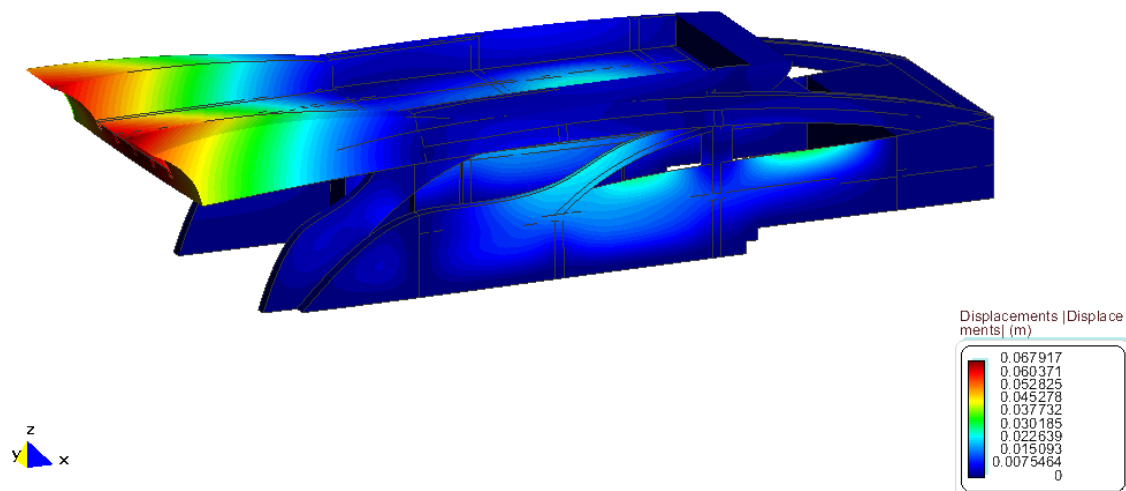


Antes

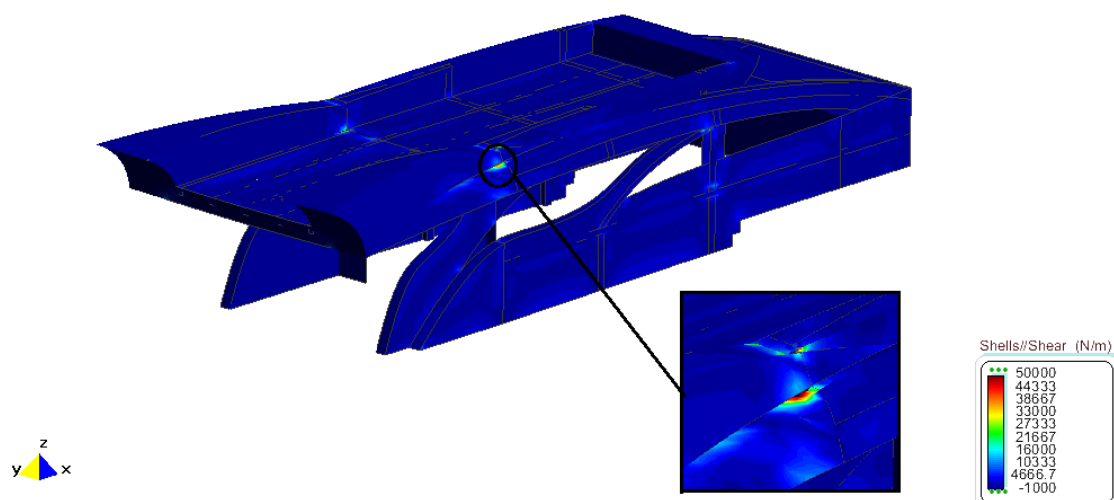


Después

Nuevos desplazamientos



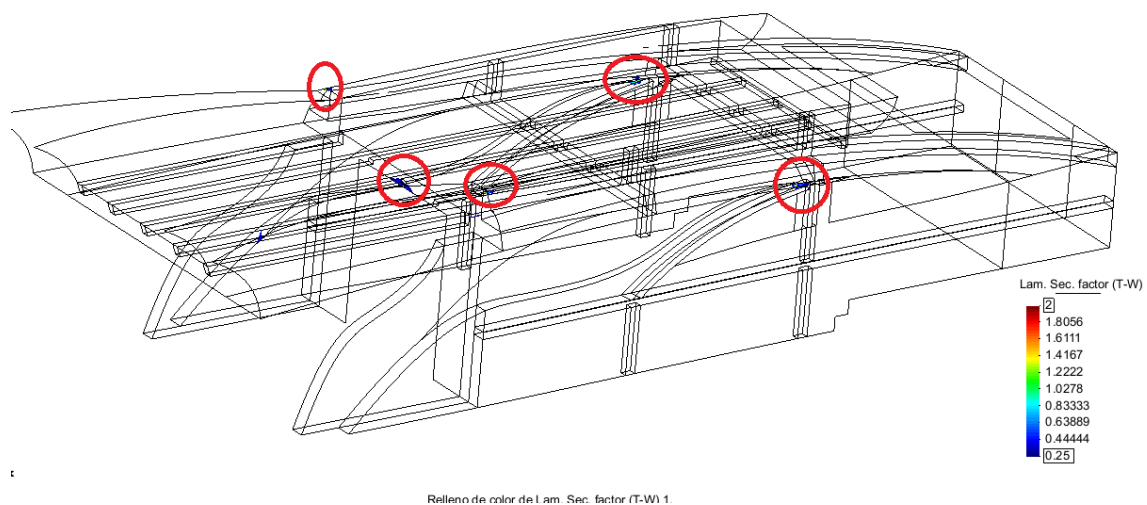
Cortantes





Como esperábamos y señalamos en la imagen vemos que la unión del voladizo al mamparo está sometida a un gran esfuerzo cortante (está próxima a los 50kN/metro). Veremos como responden los factores de seguridad, en caso de que no soporten correctamente tendremos que revisar el laminado en ese punto o realizar un cambio en la estructura apuntalándola por popa.

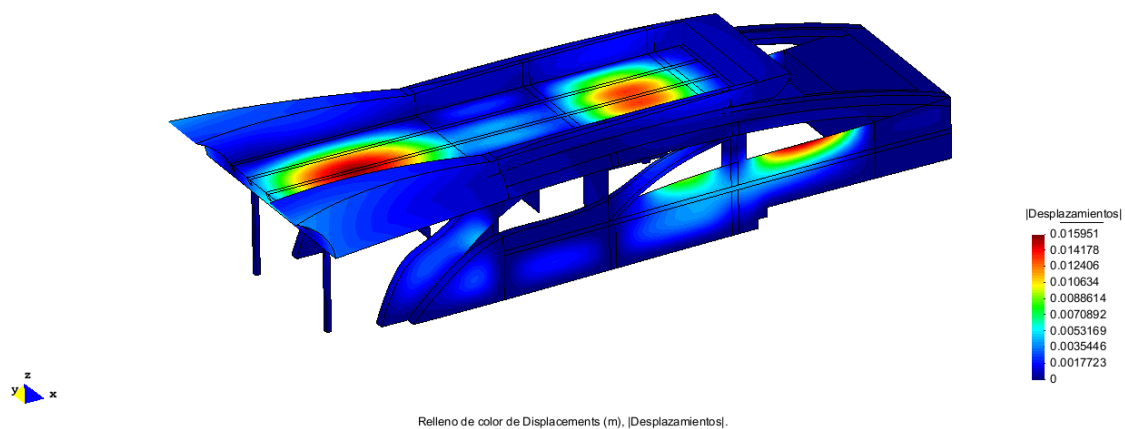
Coeficientes de seguridad



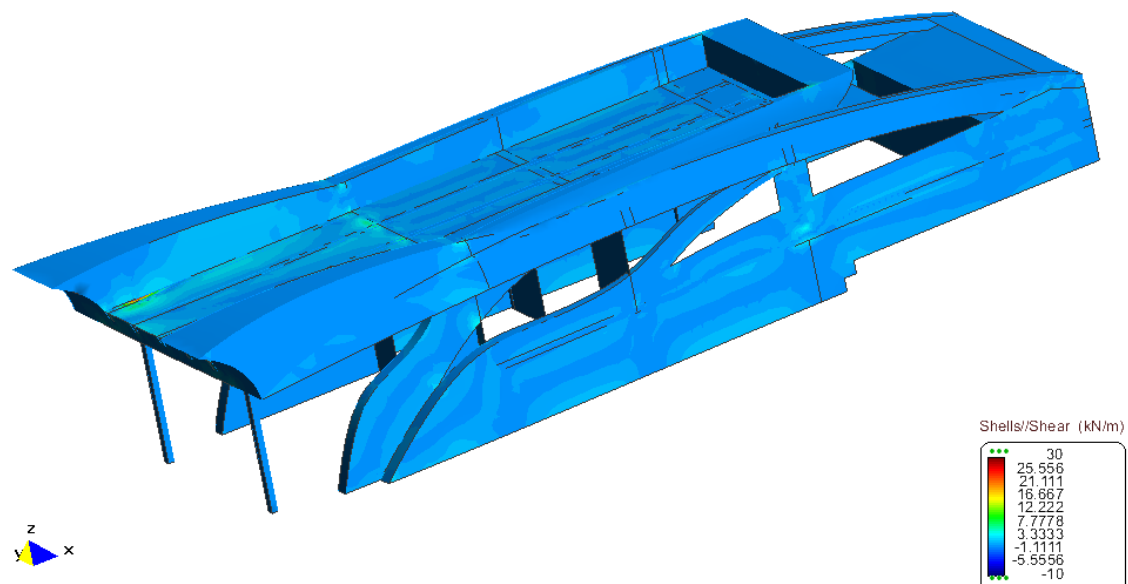
Vemos que los coeficientes de seguridad en todas las capas sobrepasan el factor 0,25, el cual es el límite según reglamento. Podríamos modificar el laminado, pero provocaría un aumento de peso en un punto muy alto del barco y decidimos colocar dos puntales de acero inoxidable de un tamaño de 10 x 10 cm y de 3 milímetros de espesor y un medio mamparo para soportar también el bao intermedio. También incrementaremos 20 centímetros la altura del mamparo de popa para evitar la concentración de tensiones que se aprecia en el centro.



Desplazamientos



Cortantes

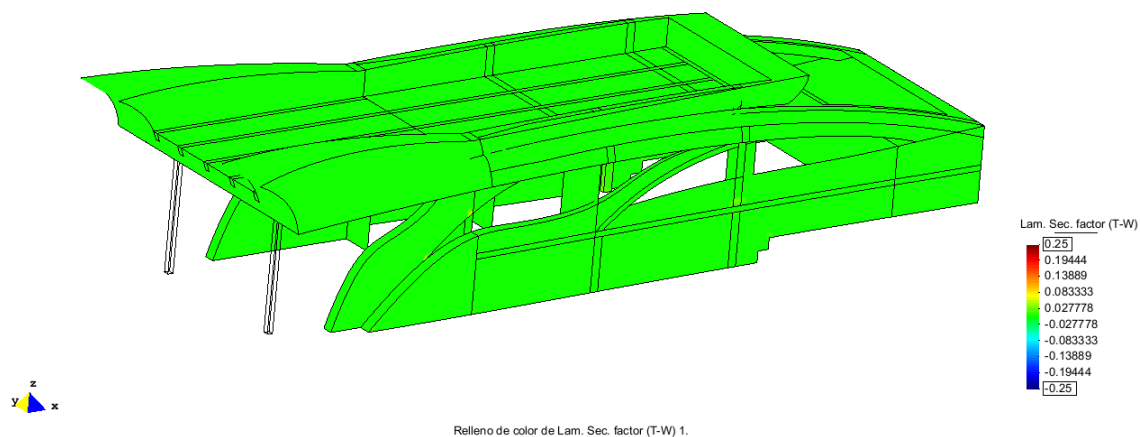




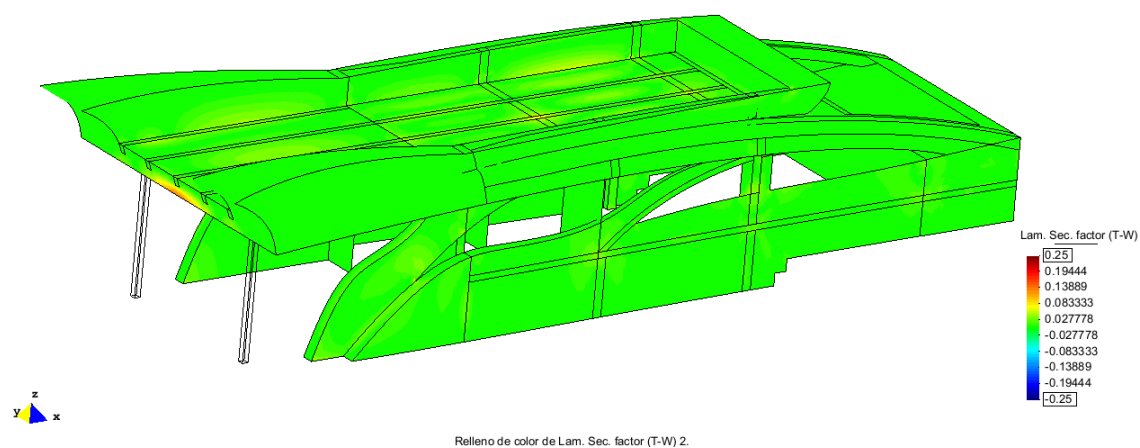
Coeficientes de seguridad de las capas

Cara exterior del laminado

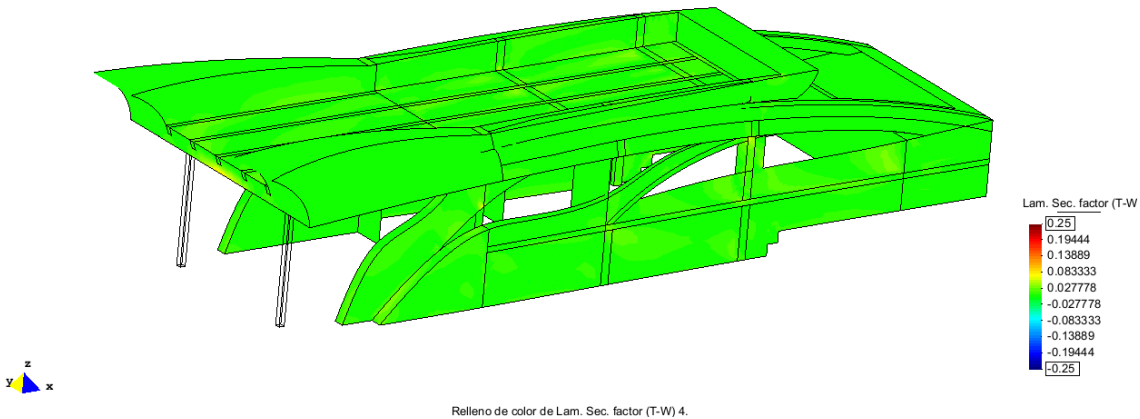
Capa 1



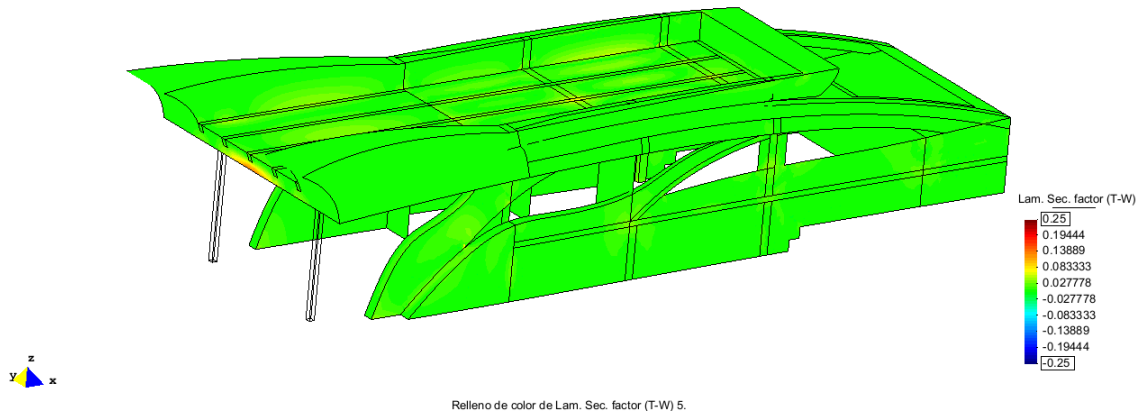
Capa 2



Capa 4



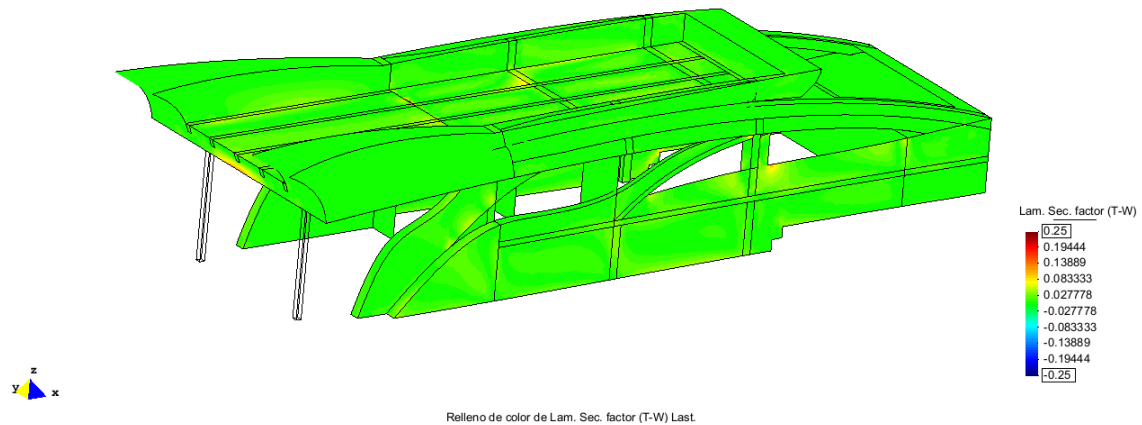
Capa 5



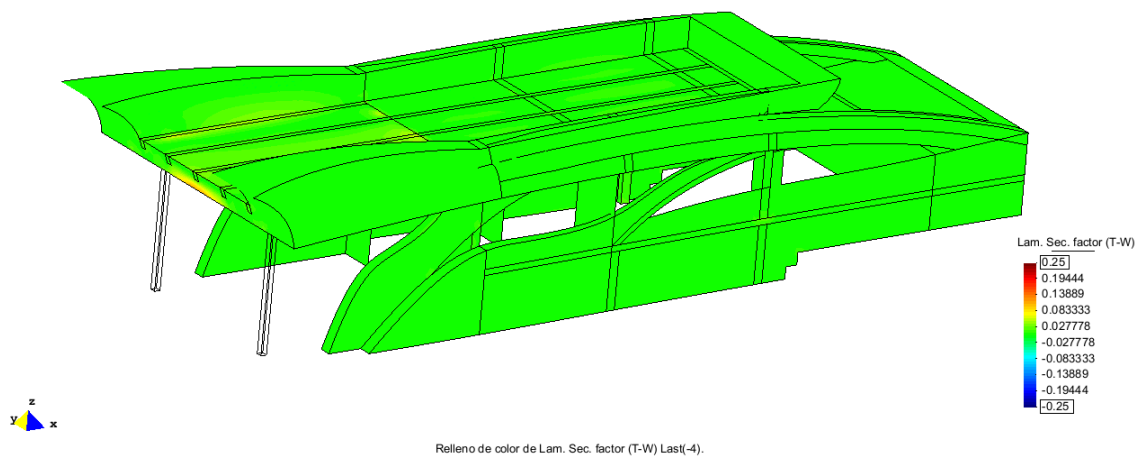


Capas interiores

Capa 1

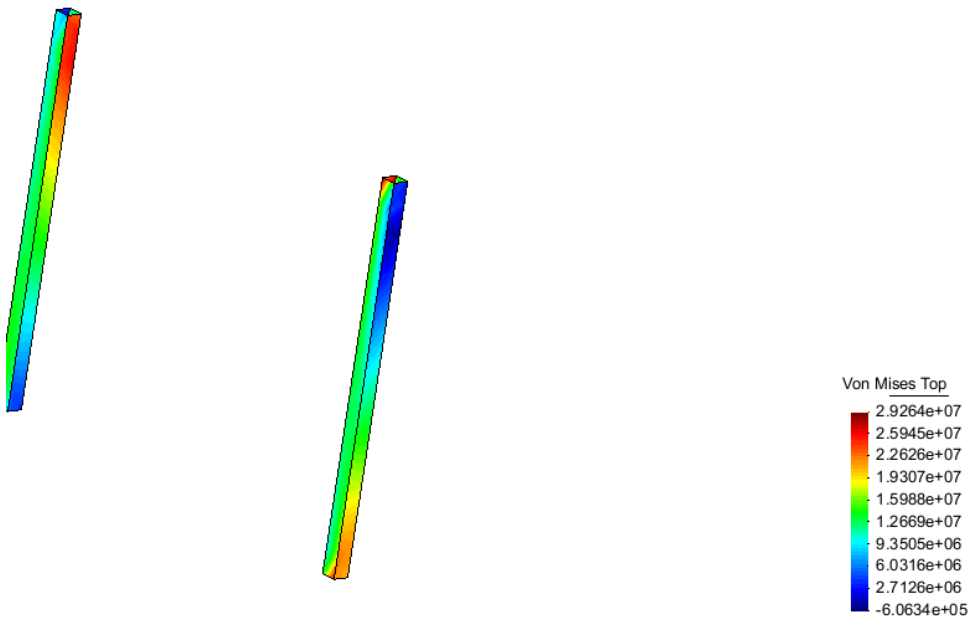


Capa 4



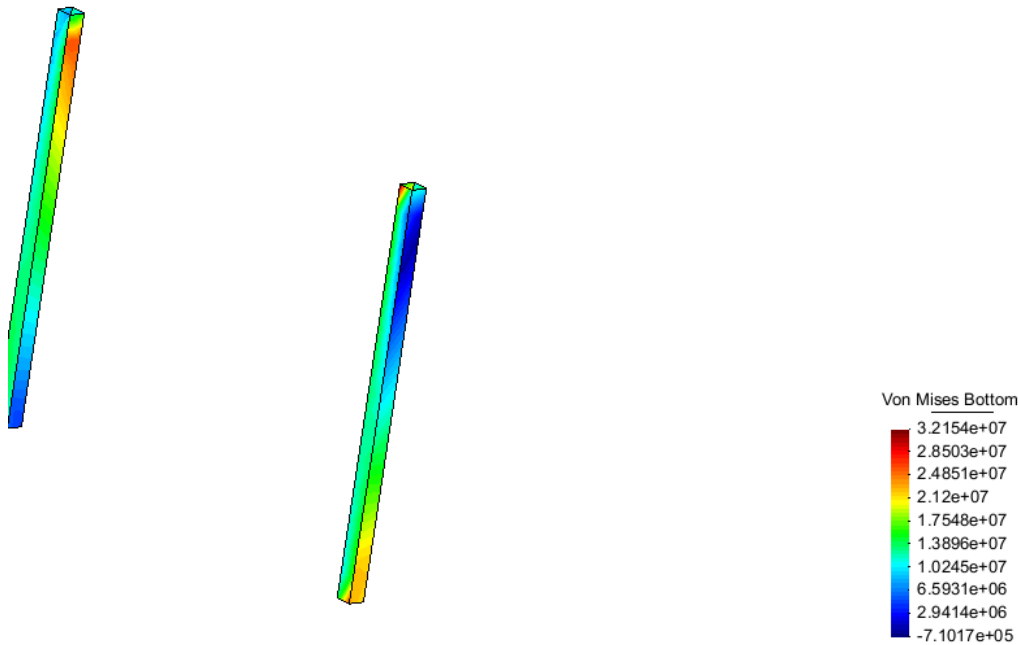
Como último punto vamos a comprobar los puntales que hemos colocado y transmitirán la carga al mamparo inferior.

Von misses top



Relleno de color de Von Mises Top (Pa).

Von Mises Bottom



Relleno de color de Von Mises Bottom (Pa).

Conclusion

En este proyecto se ha perseguido el objetivo de analizar y poner en práctica el estado del arte en el diseño e ingeniería de la náutica de recreo, siendo esta muy similar a la empleada en otros campos de la ingeniería naval. El procedimiento se puede dividir en tres los grupos que se han tenido que trabajar en profundidad para llegar a completar diseño y cálculo. Estos son la modelización, el cálculo analítico y el cálculo por el método de los elementos finitos.

La modelización es un proceso que no requiere el enfrentamiento con problemas complejos o de difícil resolución. Aunque esto sea cierto, se ha de destacar la abismal diferencia entre enfrentarse al diseño conociendo la matemática con la que se está trabajando. Trabajar con NURBS sin realmente entender su funcionamiento puede darnos un resultado agradable a primera vista, pero seguramente estemos trabajando con superficies de muy baja calidad que terminaran por darnos problemas en el proceso.

Este grupo cuenta también con una importante componente artística, la cual en la mayoría de los casos tiende a complicar la ingeniería. Un claro ejemplo de esto hemos tenido al encontrar en la superestructura formas que complican emplear a posteriori la práctica del refuerzo con su plancha asociada, ya que se hace difícil identificarlos claramente.

Una vez completado el proceso de diseño y cálculo, se ha podido comprobar, que cuanto más complejas sean las formas que queramos obtener, mas recomendable es emplear el método de elementos finitos que el analítico. Recordemos que los resultados de los elementos finitos hemos obtenido puntos de concentración de tensiones que no esperábamos al haber obtenido los analíticos.

Como segundo grupo, se identifica el cálculo analítico de la estructura. La consecución de este cálculo se consigue mediante la lectura y comprensión de los reglamentos de las sociedades de clasificación. Se ha de destacar que la lectura de la normativa ha tenido una gran carga didáctica. A través de la lectura de los diferentes capítulos, no solo se conocen los requisitos mínimos para el diseño de una embarcación, sino que se pueden encontrar los razonamientos de los cálculos que consiguen hacernos asentar conceptos previamente estudiados..

Para el desarrollo de los cálculos existe software asociado a las reglas, pero estos no se pueden encontrar de manera gratuita. Por esta razón se ha optado por estudiar el reglamento y desarrollar programaciones sencillas en hojas de cálculo. Este proceso requiere un poco más de tiempo, pero es exactamente igual de válido que el primero. Las partes que se han tenido que programar han sido dos. La primera consta en el cálculo de la presión correspondiente en el punto de aplicación aplicando los conocidos parámetros y coeficientes. En la segunda se ha realizado el cálculo de las planchas por los métodos del reglamento, cuyo procedimiento es idéntico al aprendido en las asignaturas cursadas de cálculo de estructuras.

El tercero y último grupo ha sido en el que más tiempo y paciencia se ha invertido. Para la realización de los cálculos se ha estudiado el método de los elementos finitos y la manera de llevar a cabo un cálculo de manera exitosa con el programa Ramseries.

Los problemas empezaron a aparecer con la exportación/importación del archivo. A través del aprendizaje se han controlado parámetros muy importantes sobre la geometría y la tolerancia que son muy propensos a dar problemas. En algunos casos se han dado errores en superficies sin explicación aparente. Estos errores se suelen subsanar simplemente rehaciendo la superficie que el programa de importación Ramseries ha reconocido como incorrecta.

Una vez se ha conseguido un buen archivo sobre el que trabajar en el programa de elementos finitos, el aplicar los parámetros del problema es una parte de aplicación de lógica e intuición que se agiliza con la práctica.

Para la calidad del cálculo es decisiva la elección del mallado, y para poder tener garantías del mismo se ha estudiado el procedimiento y los parámetros que indican la calidad del mismo (ángulos, tamaños, tipo de elemento...). Este paso requiere gran inversión de tiempo, pero se puede decir que es donde reside mayor responsabilidad de éxito o fracaso del el resultado.

Con lo expuesto en este proyecto se da a entender que el análisis por elementos finitos nos permite realizar un cálculo de una calidad muy superior al que se basa en el procedimiento típico de reglamento. En el otro lado de la balanza tenemos dos grandes contraprestaciones que nos harán plantearnos su uso. La primera, es la cantidad de tiempo que se ha de emplear, y la segunda es la dificultad de apreciar resultados erróneos y darlos por validos, ya que nos pueden parecer correctos sin serlo. Si no tenemos total control sobre el procedimiento empleado y los parámetros elegidos para el cálculo.

Bibliografía

- Sorensen's Guide to Powerboats, Eric W.Sorensen (Jun 14,2002)
- Introduction to Composite Materials Design, Ever J. Barbero (Nov 1, 1998)
- Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles, O.M. Faltisen (Jan 9, 2006)
- Hydrodynamic Design of Planing Hulls, Daniel Savitsky SNAME 1964
- Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water, Daniel Savitsky and P.Ward Brown, SNAME 1976
- Resistance Prediction of Planing Hulls, Bryant S. Almeter, SNAME 1993
- The finite element method. Basis and fundamentals, O.C. Zienkiewicz, May 2005
- Introduccion al método de los elementos finites, A.Carnicero
- Ramseries practice Compass, ingeniería y sistemas.
- Germanischer Lloyds Rules and Guidelines, gl group ,2012
- Special Service Craft, Lloyds register, 2012
- www.boatdesign.net